

Resum

L'Hospital de la Santa Creu i Sant Pau es planteja implantar un sistema automatitzat de distribució i emmagatzematge dels historials clínics del nou hospital.

L'objectiu d'aquest projecte és el de determinar l'eficiència del sistema mitjançant la simulació.

Utilitzant el paquet informàtic Witness de Lanner Group es determinen els nivells de funcionament del conjunt de la instal·lació, que permeten satisfer la demanda diària d'historials clínics de l'hospital. Es necessiten repartir de l'ordre de 2400 expedients per a les consultes mèdiques del dia següent i recollir els 2400 expedients del dia en un torn de vuit hores.

El conjunt de la instal·lació proposada per Siemens Controlmatic S.A. consta de quatre parts bàsiques:

- Magatzem automatitzat
- Cintes transportadores
- Zona de preparació de comandes
- Sistema de distribució per rail aeri de càrregues lleugeres

Donada la complexitat de moviments que es produeixen dins la instal·lació, especialment en el magatzem automàtic, primer es realitza el model de cadascuna de les quatre parts bàsiques per separat i posteriorment el de la instal·lació completa.

L'experimentació amb els quatre submodels permet comprovar la capacitat de cadascun d'ells independentment de la resta de la instal·lació. El model complet permet veure posteriorment com afecten al funcionament del sistema les interaccions entre les parts de la instal·lació i els corresponents colls d'ampolla.

Els resultats obtinguts del model complet mitjançant la simulació indiquen les hores que fan falta per repartir i recollir tots els expedients, en funció de la quantitat de recursos i temps d'operació assignats a cadascuna de les quatre parts bàsiques de la instal·lació.





Sumari

RESUM	1
SUMARI	3
1 INTRODUCCIÓ	5
1.1 Presentació i justificació del projecte.....	5
1.2 Objectiu del projecte	5
1.3 Abast del projecte	5
2 DESCRIPCIÓ DE LA INSTAL·LACIÓ	7
2.1 Descripció física de la part de la instal·lació proposada.....	7
2.1.1 Magatzem automatitzat	8
2.1.2 Cintes transportadores.....	11
2.1.3 Zona de preparació de comandes.....	12
2.1.4 Sistema de distribució de vagonets per rail aeri	12
2.1.5 Consultes externes	14
2.2 Descripció funcional.....	14
2.2.1 Zona de magatzem.....	14
2.2.2 Cintes transportadores.....	14
2.2.3 Zona de preparació de comandes.....	15
2.2.4 Sistema de transport per rail aeri de vagonets	17
2.3 Descripció de fluxos.....	21
3 CARACTERITZACIÓ I LENGUATGE DE SIMULACIÓ	23
3.1 Mètode de resolució	23
3.2 Elecció del llenguatge de simulació.....	23
3.3 Llenguatge de simulació Witness	24
3.3.1 Elements de Witness i aplicació	24
3.3.2 Obtenció de resultats	26
3.3.3 Experimentació	26
4 ANÀLISI DEL SISTEMA I CONSTRUCCIÓ DELS MODELS	27
4.1 Model 1: Magatzem	28
4.2 Model 2: Cintes transportadores	28
4.3 Model 3: Zona de preparació de comandes.....	29
4.4 Model 4: Sistema de transport per rail aeri.....	29
4.5 Model complet.....	29
5 MODEL 1: MAGATZEM	31
5.1 Anàlisi.....	31



5.2	Resultats	40
6	MODEL 2: CINTES TRANSPORTADORES	43
6.1	Anàlisi.....	43
6.2	Resultats	44
7	MODEL 3: ZONA DE PREPARACIÓ DE COMANDES	45
7.1	Anàlisi.....	45
7.2	Resultats	45
8	MODEL 4: SISTEMA DE TRANSPORT PER RAIL AERI	47
8.1	Anàlisi.....	47
8.2	Resultats	48
9	MODEL COMPLET	51
9.1	Anàlisi.....	51
9.1.1	Hipòtesis generals	51
9.1.2	Transelevadors	52
9.1.3	Cintes transportadores	52
9.1.4	Zona de preparació de comandes	53
9.1.5	Transports de vagonetes	54
9.2	Resultats	55
9.2.1	Temps necessari per a la distribució d'expedients	55
9.2.2	Operaris de la zona de preparació de comandes.....	57
9.2.3	Transelevadors	59
9.2.4	Transport de vagonetes.....	62
9.3	Alternatives	65
10	VALORACIÓ ECONÒMICA	67
	CONCLUSIONS	69
	BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTÀRIA	71



1 Introducció

1.1 Presentació i justificació del projecte

L'Hospital de la Santa Creu i Sant Pau realitza, diàriament, de l'ordre de 2400 consultes mèdiques al nou hospital de consultes externes. Actualment, el sistema d'emmagatzematge d'historials clínics es realitza manualment amb un grup de persones encarregades de buscar els 2400 historials necessaris per a les consultes mèdiques l'endemà, així com de retornar els 2400 historials que s'han utilitzat durant el dia.

L'hospital es planteja la possibilitat d'implantar una solució automàtica per al seu sistema d'arxius amb els següents objectius:

- Augment del rendiment en la cerca i extracció dels historials clínics del magatzem minimitzant els recursos humans i temps necessaris.
- Major agilitat i velocitat en la preparació dels lots d'historials, sincronitzats amb el sistema de distribució, de manera que els doctors disposin d'aquests amb antelació a les hores de consulta.
- Disposar d'un control acurat tant en la quantitat de tots els expedients que hi ha a la instal·lació com en la seva localització.

La proposta de la nova instal·lació, dissenyada per Siemens Controlmatic, consta d'un magatzem automatitzat, una zona de preparació de comandes i un sistema de distribució de vagonetes per rail aeri. La instal·lació ha estat totalment automatitzada i tot el flux de material està gestionat mitjançant un sistema informatitzat del qual se'n desconeix la seva implementació.

1.2 Objectiu del projecte

L'objectiu del projecte és verificar, mitjançant simulació, que la instal·lació proposada compleix amb les especificacions tècniques requerides per l'Hospital de la Santa Creu i Sant Pau i dissenyades per Siemens Controlmatic.

1.3 Abast del projecte

Aquest projecte no tracta de reproduir amb exactitud el funcionament de la instal·lació ja que es desconeix la implementació del programa de gestió dels elements automatitzats i, per tant,



l'abast d'aquest projecte es limita a determinar la capacitat mecànica de la instal·lació a partir de les dades tècniques subministrades per Siemens, S.A.



2 Descripció de la instal·lació

El nou edifici de l'Hospital de la Santa Creu i Sant Pau es troba al carrer Mas Casanovas 90 de Barcelona, darrera dels pavellons modernistes de Domènech i Montaner.

El bloc central del nou edifici realitza les següents funcions:

- Consultes externes
- Gabinets d'exploració
- Hospital de dia
- Quiròfans de cirurgia major ambulatoria
- Quiròfans de cirurgia cardíaca
- Hemodinàmica
- Oncologia
- Unitat coronària
- Arxiu d'històries clíniques
- Bloc obstètric

Les consultes externes i l'arxiu d'històries clíniques són els departaments directament implicats en el projecte a tractar.

2.1 Descripció física de la part de la instal·lació proposada

La instal·lació per a les històries clíniques es divideix en cinc zones tal i com es mostra a la Fig. 2.1.

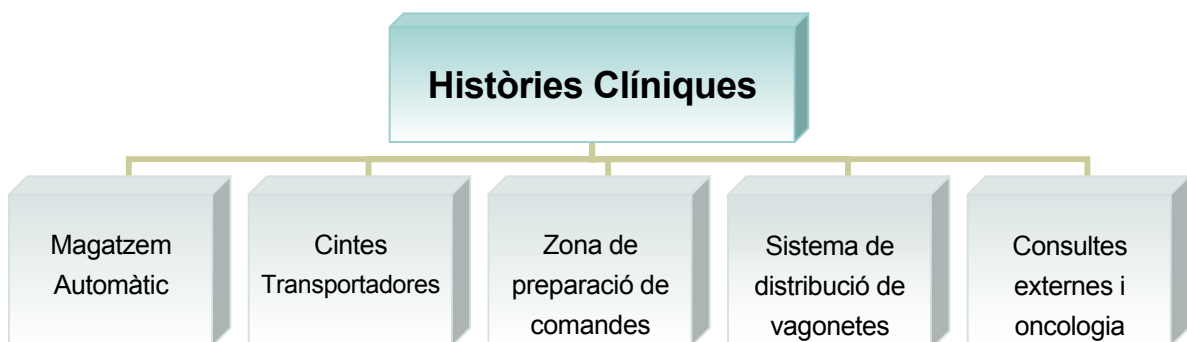


Fig. 2.1. Abast de la instal·lació d'històries clíniques



2.1.1 Magatzem automatitzat

El magatzem està situat a la planta -2 del bloc central del nou hospital. Cal destacar que, tant el magatzem com la zona de preparació de comandes són dins del mateix recinte. Aquest recinte fa 37,55m de llarg, 14,4m d'amplada i 4,98m d'alçada; però té l'inconvenient de que hi ha una sèrie de columnes pròpies de l'edifici que interfereixen directament en l'espai útil a l'hora d'allotjar les caixes que contenen els historials. Tot i així disposa d'una capacitat aproximada per a 88000 historials.

El magatzem consta de tres passadissos paral·lels però de longituds i capacitats diferents. Cada passadís disposa d'un transelevador per a l'extracció/introducció de les caixes dels historials clínics.

Les caixes són de plàstic de dimensions 600x400x415mm, i tenen una capacitat de vint expedients per caixa. Per garantir una traçabilitat constant de cada caixa, aquestes van identificades amb un codi de barres individual.

Els passadissos disposen de prestatgeries per allotjar les caixes. Les dimensions dels forats de les prestatgeries per allotjar-hi les caixes, són de 500mm d'amplada per 1100mm de profunditat per 500mm d'alçada.

En la Fig. 2.2 es mostra la distribució en planta del recinte del magatzem. Aquest dibuix correspon a un detall del Plànol B.1 de l'Annex B proporcionat per Siemens.

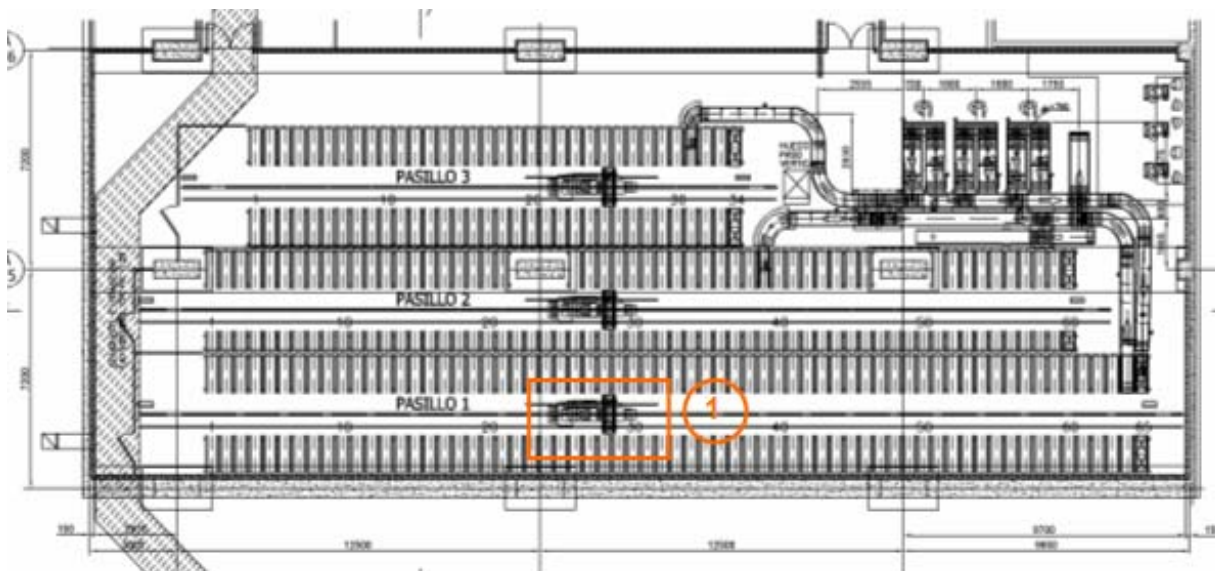


Fig. 2.2. Recinte del magatzem

En la figura anterior, la referència 1 mostra un transelevador situat al mig del passadís 1.



- **Passadís 1**

El Passadís 1 és el més llarg de tots tres. Fa un total de 32,5m de longitud. Està format per una filera de prestatgeries a banda i banda de doble profunditat. Les prestatgeries de doble profunditat tenen la peculiaritat d'augmentar la capacitat estàtica del magatzem, ja que es poden posar dues caixes en el mateix prestatge, però tenen l'inconvenient d'haver d'extreure i recol·locar, en un prestatge diferent, la caixa del davant en cas de només necessitar la caixa del darrere.

El passadís disposa de seixanta-cinc columnes de prestatgeries situades una al costat de l'altra de vuit files d'alçada cadascuna; però degut a la distribució física del recinte, no totes les posicions són hàbils per a allotjar caixes. Descomptant els trenta-nou forats perduts per les columnes del propi edifici i els quatre forats necessaris per a l'entrada/sortida de les caixes del passadís, el recinte disposa d'una capacitat per a 2037 caixes.

L'entrada/sortida de caixes es realitza pel mateix costat i alçada de les dues primeres columnes del passadís.

- **Passadís 2**

El Passadís 2, amb 30m de longitud, és més curt que el Passadís1. També conté una filera de prestatgeries a banda i banda, però en aquest cas, tant sols en té una de doble profunditat.

Aquest passadís té un total de seixanta columnes de longitud per vuit files en alçada. Tenint en compte la distribució física de les columnes de l'edifici, es perden un total de 158 posicions de caixes i quatre més degut als espais perduts per permetre l'extracció/retorn de les caixes al passadís; donant una capacitat per a 1278 caixes.

L'entrada/sortida de caixes del passadís 2 es troba a la vintena columna cap a la meitat del passadís, al mateix costat però a diferent alçada.

- **Passadís 3**

El Passadís 3 és el més curt de tots tres, i fa un total de 17m de longitud. Com en el cas del Passadís 1, està format per una filera de prestatgeries a banda i banda de doble profunditat.

Disposa de trenta-quatre columnes de prestatgeries una al costat de l'altra per vuit files d'alçada. En aquest cas, només es perden els quatre espais necessaris per l'extracció/retorn de caixes, disposant d'una capacitat per a 1084 caixes.

L'entrada/sortida de caixes del passadís 3 es troba en la tercera columna del passadís, al mateix costat però a diferent alçada.



Sumant les capacitats de cadascun dels passadissos, s'arriba a una capacitat total del magatzem per a 4399 caixes, i ja que en una caixa hi caben uns vint historials, s'obté una capacitat d'historials clínics de 87980.

- **Transelevadors**

Els transelevadors, són vehicles automatitzats encarregats d'extreure/retornar les caixes dels prestatges dels passadissos i que es mouen per rails situats enmig dels passadissos. Són ideals per a manipular càrregues combinades lleugeres de fins a 100 Kg a velocitats elevades i disposen d'un manipulador telescòpic que els permet manipular caixes de dues en dues.

A part de desplaçar-se horitzontalment, disposen d'una cabina capaç d'elevat-se per arribar fins la posició d'alçada desitjada. Aquesta cabina està dotada d'un braç telescòpic que permet agafar o deixar caixes de les prestatgeries a doble o simple profunditat.

És el programa informàtic el que s'encarrega de gestionar el funcionament dels transelevadors, indicant en quines posicions s'han d'introduir/extreure caixes i en quin ordre.

A la foto següent (Fig. 2.3) es mostra el tipus de transelevador proposat per a la instal·lació.



Fig. 2.3. Foto del tipus de transelevador proposat per a la instal·lació



Les característiques tècniques del transelevador es mostren a la Taula 2.1.

Velocitat translació horitzontal	$v_x = 5,0 \text{ m/s}$
Velocitat translació vertical	$v_y = 3,0 \text{ m/s}$
Acceleració horitzontal/vertical	$a_x = 3,0 \text{ m/s}^2$
Velocitat braç telescòpic	$v = 2,0 \text{ m/s}$
Acceleració braç telescòpic	$a = 1,75 \text{ m/s}^2$

Taula 2.1. Característiques dels transelevadors.

2.1.2 Cintes transportadores

Totes les cintes de transport es troben a la planta -2 formant un circuit per al transport de caixes, entre el magatzem i la zona de preparació de comandes i consten de diferents tipus:

- Taules de rodets
- Taules de cadenes
- Taules elevadores de rodets
- Taules elevadores de cadenes
- Taules transferidores

Les característiques tècniques dels diferents elements es mostren a la Taula 2.2.

Element	Velocitat o temps de cicle
Taula de rodets	1,5m/s
Taula de cadenes	1,5m/s
Taula elevadora de rodets	1,5s/cicle
Taula elevadora de cadenes	1,5s/cicle
Taula transferidora	2m/s

Taula 2.2. Característiques dels diferents tipus de màquines

Aquests elements poden tenir diferents longituds i/o permetre l'acumulació de caixes en funció del tipus.

La longitud lineal total del circuit de cintes transportadores és aproximadament de 75 m.



2.1.3 Zona de preparació de comandes

La zona de preparació de comandes consta de tres estacions situades entre les cintes transportadores i el sistema de transport per rail aeri de vagonetes.

Cada estació està formada per una taula de rodets per on arriben les caixes amb els expedients a agafar o bé, caixes amb espai per a poder-n'hi col·locar; i un rail per on arriba una vagoneta que fa d'enllaç entre la zona de preparació de comandes i les consultes.

Cada estació disposa de suficient espai com per a allotjar una cua de quatre caixes en espera sense interferir amb el funcionament del circuit de cintes. D'aquesta manera l'operari no perd temps esperant a que li arribin caixes.

En la Fig. 2.4 s'observa la distribució de les cintes transportadores i les estacions de preparació de comandes. Aquest dibuix també és un detall del Plànol B.1 de l'Annex B. La zona de preparació de comandes correspon a l'àrea dins el rectangle de color, mentre que el cercle de color mostra un tros del circuit de cintes transportadores.

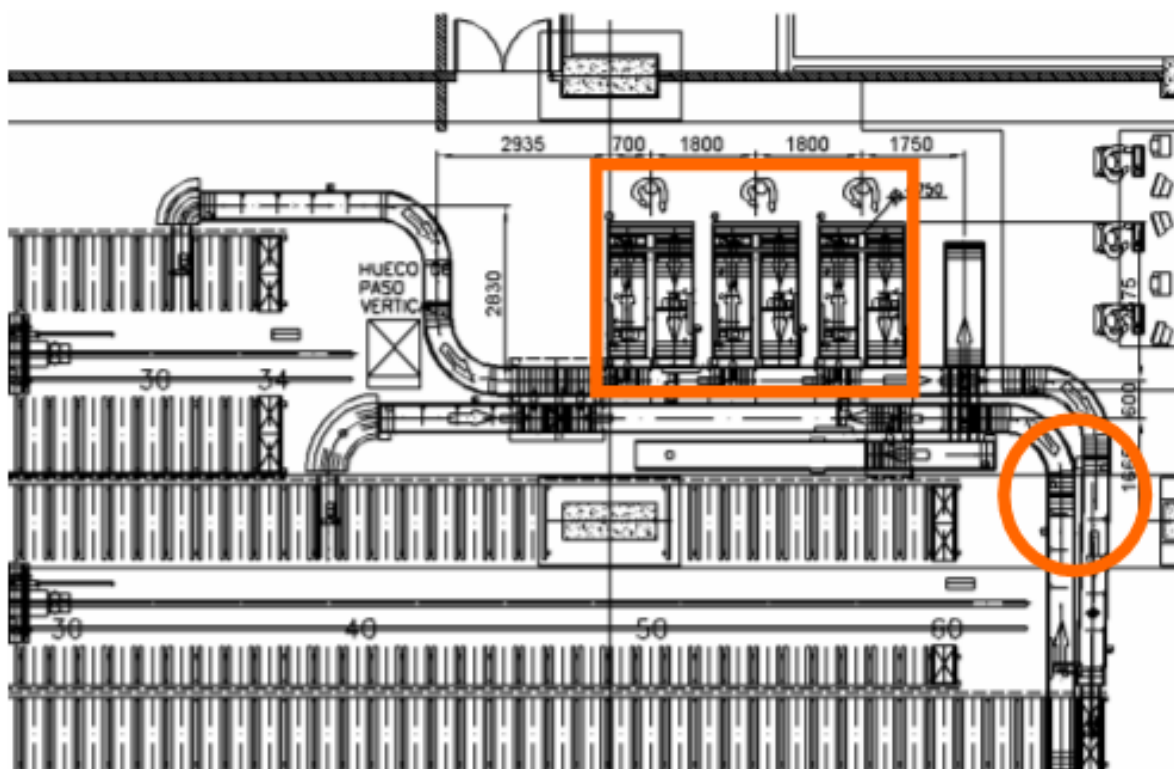


Fig. 2.4. Distribució de les cintes transportadores i estacions de preparació de comandes

2.1.4 Sistema de distribució de vagonetes per rail aeri

Sistema format per un circuit de rails penjats del sostre pel que circulen quinze vagonetes motoritzades que transporten els historials des de la zona de preparació de comandes fins a qualsevol de les plantes superiors on facin falta i viceversa.



Cal destacar que el circuit de transport es ramifica en tres ramals de distribució, ja que el bloc central de l'hospital disposa de dues ales i també s'ha de poder enviar expedients clínics a la secció d'oncologia, la qual es troba en una part de la planta 0 del bloc central.

L'hospital disposa d'un total de nou zones de recepció/expedició de vagonetes. Les nou zones es reparteixen en una per planta i ala, i una per oncologia.

Apart de desplaçar-se per una xarxa de rails penjats del sostre, les vagonetes es mouen per rails verticals per anar de planta a planta.

Les característiques tècniques de les vagonetes es mostren a la Taula 2.3.

Velocitat horitzontal	$v_x = 0,6 \text{ m/s}$
Velocitat vertical	$v_y = 0,45 \text{ m/s}$
Dimensions vagoneta	610x170x550mm

Taula 2.3. Característiques de les vagonetes

La longitud lineal total del sistema de transport és aproximadament de 300 m.

A la Fig. 2.5 es mostra un dibuix del sistema de transport de vagonetes. Aquest dibuix correspon al Plànol B.2 de l'Annex B proporcionat per Siemens.

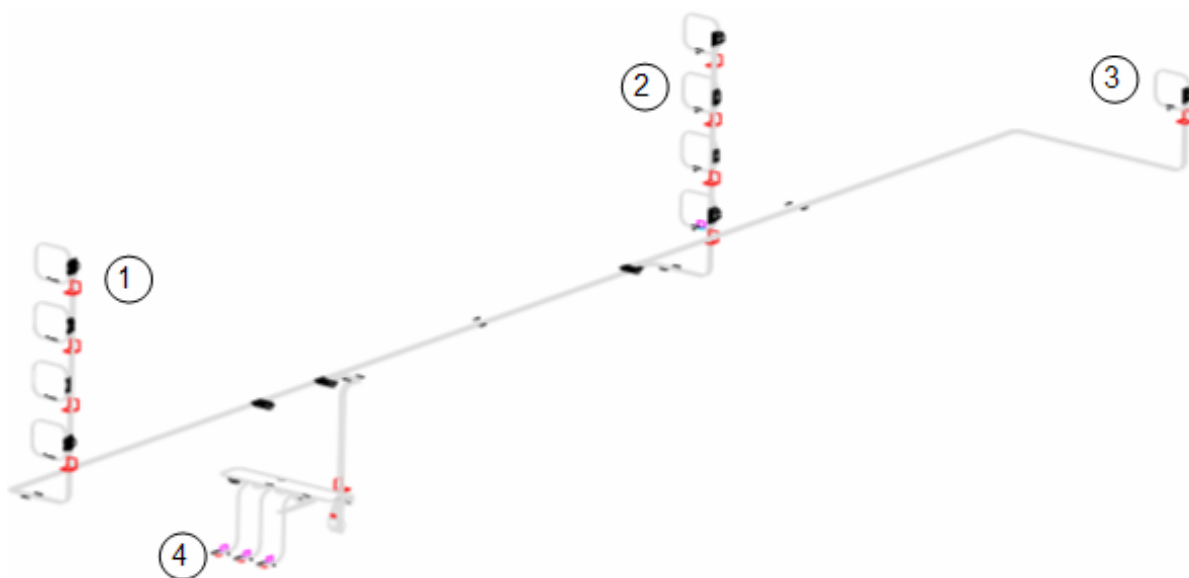


Fig. 2.5. Dibuix del sistema de transport de vagonetes



En el dibuix anterior les referències 1 i 2, indiquen els ramals dirigits a consultes externes. La referència 3 indica el ramal que arriba fins a oncologia. La referència 4 mostra el punt de partida de les vagonetes des de la zona de preparació de comandes.

2.1.5 Consultes externes

La zona de consultes externes està situada des de la planta 1 fins la planta 3. Cadascuna de les plantes disposa de seixanta-sis consultes on els doctors atenen les visites programades pel dia. Cada doctor ha d'atendre de l'ordre de sis a vuit visites diàries.

No s'entra més en detall en la distribució física de les consultes ja que el lliurament dels expedients a cada consulta en particular, queda fora de la instal·lació automatitzada proposada per Siemens S.A.

2.2 Descripció funcional

Les parts de la instal·lació que es modelen per a la simulació, són les de magatzem, cintes transportadores, zona de preparació de comandes i el sistema de transport per rail aeri, ja que són les zones involucrades en la proposta de Siemens per tal d'aconseguir els objectius plantejats per l'hospital. Per tant, la distribució dels historials a cada planta, des dels punts destí de cada ala/planta on arriben les vagonetes fins a les consultes dels doctors no es tracta en aquest projecte.

A continuació es descriu la funcionalitat de les diferents zones a modelar.

2.2.1 Zona de magatzem

Al magatzem s'hi arxiven els historials clínics en caixes a l'espera de que siguin necessaris per fer alguna consulta dels mateixos. Aquestes caixes són l'element de manteniment bàsic entre el magatzem i la zona de preparació de comandes.

L'entrada i sortida de les caixes d'expedients del magatzem es realitza mitjançant els vehicles automatitzats anomenats transelevadors. Per tant, quan es rep la necessitat de consultar o retornar un expedient, els transelevadors extreuen la caixa adient del magatzem cap a la zona de preparació de comandes, amb tots els expedients que aquesta contingui.

Mentre els historials són al magatzem no són manipulats per cap persona.

2.2.2 Cintes transportadores

El sistema de cintes transportadores és l'encarregat de transportar el flux de caixes d'expedients entre el magatzem i la zona de preparació de comandes.



El transport de les caixes des del magatzem fins les respectives estacions de preparació de comandes i viceversa, es realitza per un circuit de cintes transportadores mitjançant la interconnexió de diferents elements mecànics:

- Les taules de rodets o de cadenes, s'utilitzen per transportar les caixes en un determinat sentit i per salvar desnivells no gaire pronunciats. En cas de necessitar fer un canvi de direcció important, s'usen les taules elevadores.
- Les taules transferidores es fan servir quan s'ha de desplaçar la caixa a un circuit paral·lel al sentit d'avanç.

2.2.3 Zona de preparació de comandes

En aquesta zona arriben els expedients del magatzem que han d'anar a consulta i aquells que provenen de consulta que han de retornar al magatzem. La zona de preparació de comandes fa d'enllaç entre el magatzem i el sistema de transport per rail aeri de vagonetes ja que canvia el sistema de transport.

A cada estació arriben, per una banda, les caixes amb els historials del magatzem i, per l'altra, les vagonetes autopropulsades que han de transportar els expedients fins a les plantes on facin falta i, en el viatge de retorn, tornar els expedients que s'han anat utilitzant durant el dia per a que puguin ser arxivats al magatzem.

Fan falta varies caixes d'historials per omplir una vagoneta perquè és poc probable que tots els expedients que s'han de carregar a la vagoneta coincideixin a la mateixa caixa.

Les operacions de preparació de comandes són realitzades per uns operaris anomenats preparadors de comandes.

- **Composició de les comandes**

Cada doctor del servei de consultes externes ha d'atendre un nombre de vistes programades. Així doncs, els operaris de la zona de preparació de comandes preparen els paquets d'expedients clínics de cada doctor per separat. Aquests paquets d'expedients són enviats, mitjançant les vagonetes, amb altres paquets destinats al mateix doctor o a doctors que visitin a la mateixa ala i planta de l'hospital.

Els paquets d'historials són bosses amb solapa de "Velcro". Aquestes bosses són de capacitat ajustable, que permeten ficar fins un màxim de vuit historials i van identificats per mitjà d'un codi de barres individual.

Els operaris preparadors de comandes també s'encarreguen de descarregar les vagonetes que arriben amb expedients a retornar al magatzem.



- **Estacions de preparació de comandes**

A la zona de preparació de comandes hi treballen tres operaris. Cadascun dels operaris s'encarrega d'una de les estacions de preparació de comandes durant un torn de vuit hores.

La manera de treballar dels operaris es coneix com a producte a home. S'anomena d'aquesta manera, degut a que és el producte el que va a cercar l'home i no a l'inrevés. Això s'aconsegueix mitjançant el sistema de cintes transportadores que traslladen el producte, en el nostre cas caixes, des del punt on es carreguen/descarreguen els transelevadors fins les estacions de preparació de comandes.

Un cop la caixa arriba a l'estació de preparació de comandes respectiva, el sistema informàtic s'encarrega de dir a l'operari quins són els expedients que ha d'agafar per anar completant el paquet d'historials dirigits a un doctor en particular.

Després d'extreure els expedients de les caixes, l'operari assigna, mitjançant codi de barres, el paquet en que aquests van allotjats dins una vagoneta, i a la vegada assigna el paquet a la vagoneta en qüestió. D'aquesta manera es té control en tot moment d'on i en quin paquet i vagoneta es troba qualsevol dels expedients.

Una vegada l'operari ha extret els expedients necessaris de la caixa, hi introdueix tants expedients retornats de les consultes del dia com sigui possible assignant-los mitjançant codi de barres a la caixa en la que els està dipositant. És d'aquesta manera que el sistema sap en tot moment en quina caixa es troba cadascun dels historials.

Realitzada aquesta operació, la caixa abandona la estació de preparació de comandes i marxa cap al magatzem per deixar pas a la següent caixa. Cal esmentar, que les estacions de preparació de comandes disposen d'una zona d'acumulació de caixes per tal de minimitzar el temps en que l'operari espera a que li arribi la següent caixa i, també, per evitar col·lapses en el circuit que alimenta a les estacions de preparació de comandes.

Un cop la vagoneta no pot allotjar més paquets destinats a una mateixa planta i ala, també abandona l'estació de preparació de comandes per dirigir-se a la planta en qüestió i deixa que accedeixi una altra vagoneta a l'estació de preparació de comandes.

En la Fig. 2.6 es mostra un resum de l'operació que realitzen els operaris de la zona de preparació de comandes.



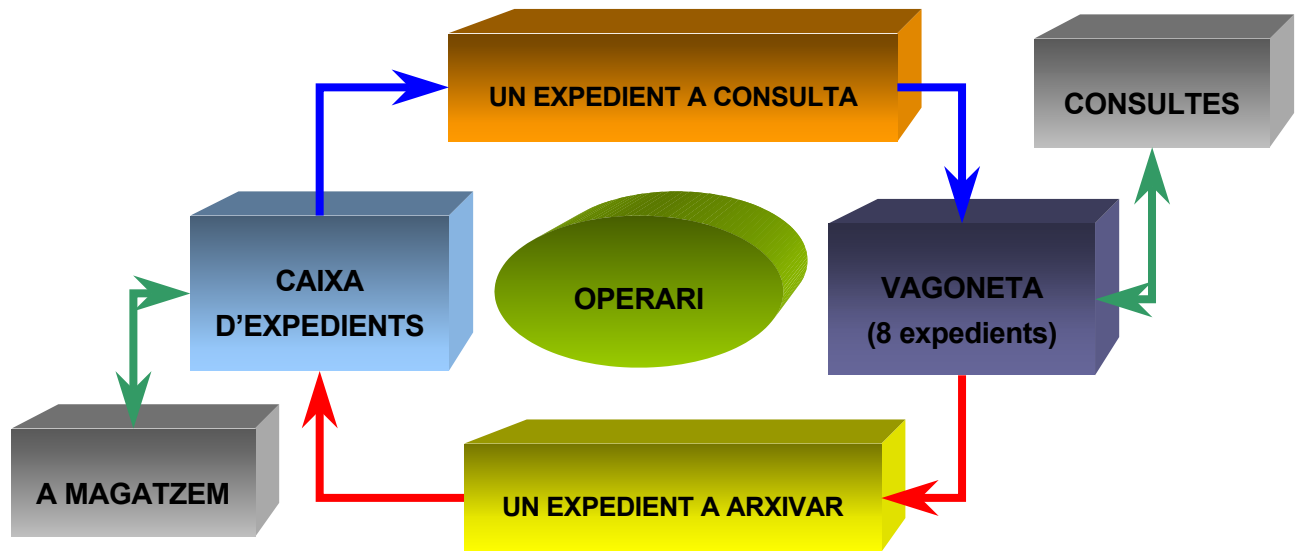


Fig. 2.6. Esquema del funcionament d'un operari de la zona de preparació de comandes

2.2.4 Sistema de transport per rail aeri de vagonetes

El sistema de transport aeri està format per un circuit de rails penjats del sostre que condueixen les vagonetes amb els paquets d'expedients clínics des de la zona de preparació de comandes fins a la zona de recepció i expedició de la planta de consultes que escaigui i viceversa a l'hora de retornar els expedients.

Les vagonetes poden transportar fins un màxim de vuit expedients clínics repartits en diferents paquets d'expedients. És a dir, poden transportar fins a vuit paquets amb un expedient cadascun.

A l'igual que les caixes i els expedients, les vagonetes també van identificades per codi de barres i així el sistema informàtic pot saber on es troben en tot moment.

La càrrega o descàrrega d'aquestes vagonetes és realitzada pels operaris de la zona de comandes o bé per personal de l'hospital de les plantes superiors.

Es poden diferenciar quatre zones dins el sistema de transport de vagonetes:

- Recepció i expedició a zona de preparació de comandes
- Col·lector de vagonetes
- Bifurcacions
- Recepció i expedició a planta destí



- **Recepció i expedició a zona de preparació de comandes**

La recepció i expedició de les vagonetes a cada estació de preparació de comandes es realitza a través d'un únic rail d'entrada/sortida que prové del col·lector de paletes situat en un nivell superior al de la zona preparació de comandes però just a sobre d'aquesta.

A l'ésser un únic rail amb finalització en una estació de preparació de comandes, no es disposa d'espai per acumular vagonetes i, per tant l'operari ha d'esperar a que marxi pel rail únic d'entrada/sortida la vagoneta que acaba de tractar, per a que comenci a baixar per aquest una altra vagoneta provenint del col·lector.

A la Fig. 2.7 s'aprecia per on arriben els rails d'entrada/sortida a les estacions de preparació de comandes. Aquest dibuix pertany a un detall del Plànol B.1 de l'Annex B. Aquests rails estan situats a la dreta dels operaris dins el rectangle de color de referència 1.

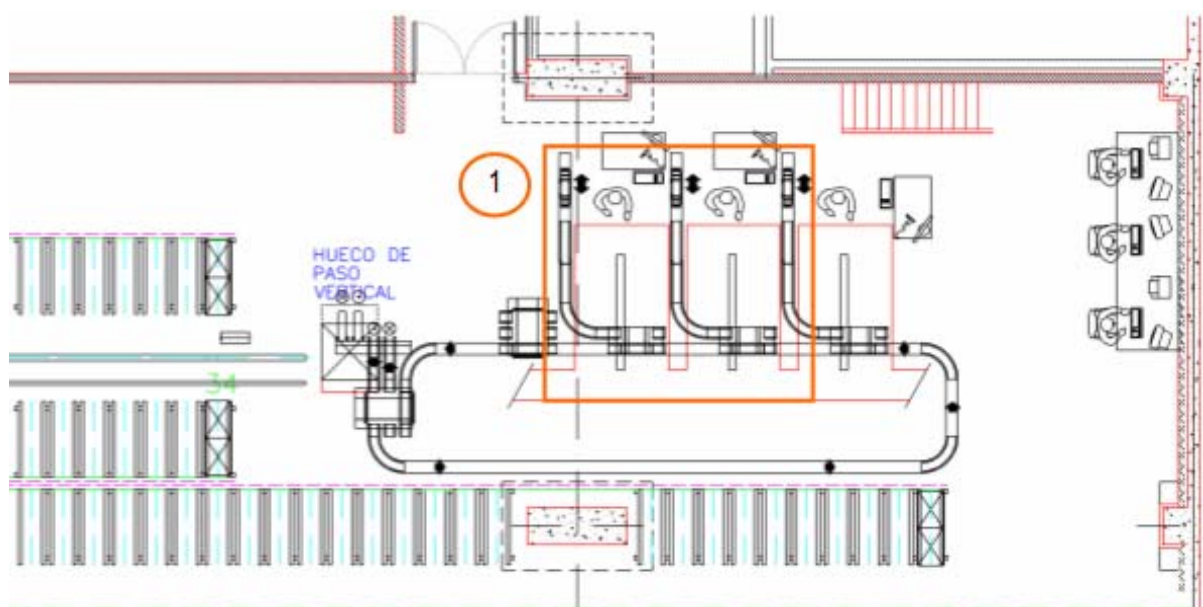


Fig. 2.7. Arribada dels rails d'entrada/sortida a les estacions de preparació de comandes

- **Col·lector de vagonetes**

El col·lector de vagonetes està situat a uns 4,5m just per sobre de la zona de preparació de comandes i fa la funció de pulmó d'acumulació i distribuïdor de les vagonetes cap a les estacions de preparació de comandes o bé cap a les plantes superiors.

El col·lector és un rail que forma un circuit pla horitzontal i rectangular amb sis desviacions, tres cap a cadascuna de les estacions de preparació de comandes, dues per a poder introduir o treure vagonetes del sistema i una que connecta el col·lector amb els rails de la distribució cap a les plantes superiors.



Les vagonetes dins d'aquest circuit es mouen sempre en el mateix sentit, i es poden arribar a acumular fins a quinze vagonetes.

La Fig. 2.8 mostra un dibuix del col·lector de vagonetes. Aquest dibuix pertany a un detall del Plànol B.2 de l'Annex B.

En el dibuix anterior, la referència 1 correspon al col·lector mentre que la 2 correspon als rails únics d'entrada/sortida que baixen del col·lector fins les estacions de preparació de comandes.

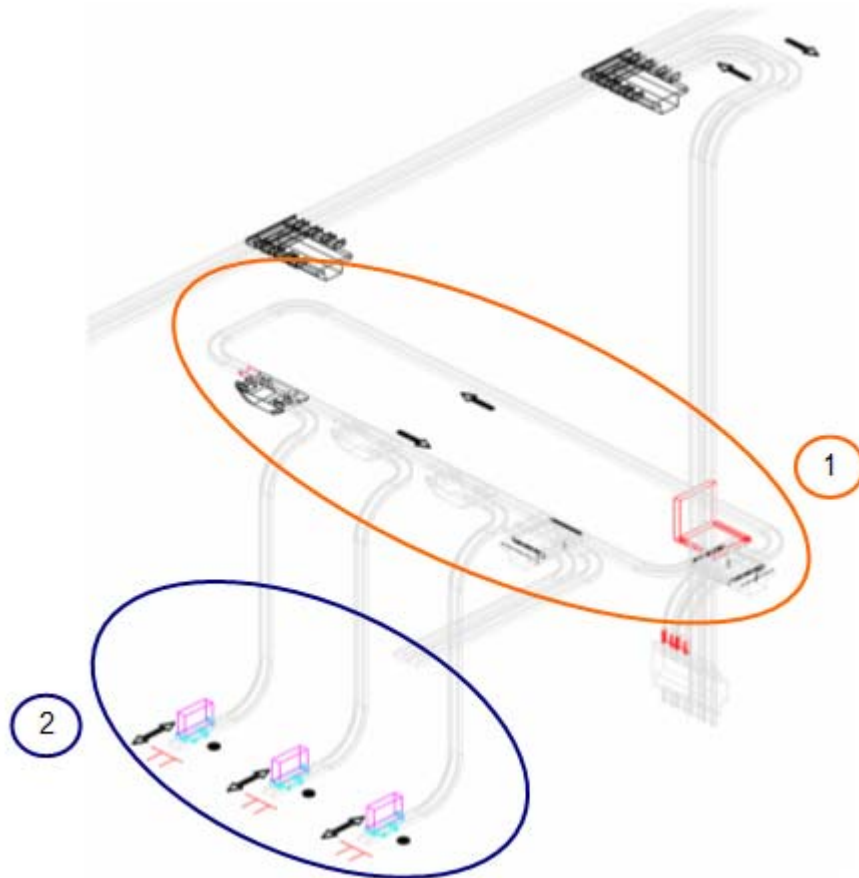


Fig. 2.8. Dibuix del col·lector de vagonetes

- **Bifurcacions**

Cada cop que es produeix una bifurcació o desviament en el circuit de vagonetes, l'operació de canvi de rail es realitza mitjançant un element mecànic que trasllada una secció del rail amb la vagoneta fins a empalmar amb l'altre ramal del circuit per on es vol fer circular la vagoneta.

Mentre es realitza aquesta operació no pot circular cap vagoneta per cap dels dos rails ja que hi falta el tros mòbil que garanteix la continuïtat del circuit.



- **Recepció i expedició a planta destí**

L'àrea de recepció/expedició de cada planta consta d'un circuit paral·lel del ramal del que depèn, i és capaç d'acumular fins a cinc vagonetes en espera de poder ésser ateses d'una en una per algun operari. Aquest operari té la funció de treure els paquets d'expedients de dintre de les vagonetes. Un altre grup d'operaris s'encarrega de distribuir-los per les consultes dels doctors, de recollir els paquets d'expedients que s'han fet servir el mateix dia i portar-los cap a l'operari de la zona de recepció, el qual els carrega a les vagonetes que va buidant per a retornar-los cap al magatzem.

A l'igual que a la zona preparació de comandes, s'identifiquen els paquets que es treuen o es posen a cada vagoneta mitjançant codi de barres per garantir la traçabilitat dels expedients.

A la Fig. 2.9 es mostra un detall de l'àrea de recepció/expedició de vagonetes a les plantes superiors. Aquest dibuix pertany a un detall del Plànol B.2 de l'Annex B.

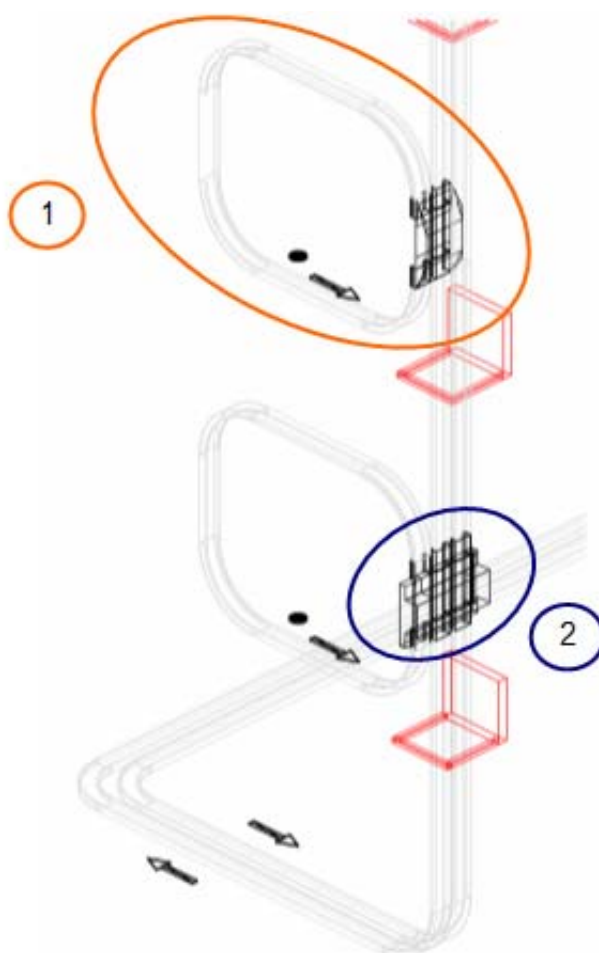


Fig. 2.9. Detall de l'àrea de recepció/expedició a les plantes superiors



La referència 1 del dibuix indica com és el circuit de recepció/expedició a cada destí. La referència 2 correspon a una bifurcació.

2.3 Descripció de fluxos

L'hospital desitja poder repartir 2400 expedients pel dia següent i recollir-ne 2400 del mateix dia, amb que faran falta manipular un total de 4800 expedients. Afectes pràctics pel càlcul de fluxos, ja que d'allà d'on es treu un expedient se'n col·loca un altre, només s'ha considerat que s'han de realitzar un total de 2400 operacions de càrrega/descàrrega a la zona de preparació de comandes.

Segons les dades subministrades per Siemens, les capacitats del magatzem automàtic i de la zona de preparació de comandes, tenint la hipòtesi de que cada expedient es troba en una caixa diferent, haurien d'ésser com a mínim les següents:

- Passadís 1: 115 caixes/hora
- Passadís 2: 115 caixes/hora
- Passadís 3: 130 caixes/hora
- Cada operari de la zona de preparació de comandes: 120 caixes/hora
- Circuit de connexió magatzem-estacions de preparació de comandes: 360 caixes/hora

1caixa = 1expedient

$$\frac{2400 \text{ caixes}}{360 \frac{\text{caixes}}{\text{hora}}} = 6,67 \text{ hores}$$

D'aquestes dades s'extreu que el sistema ha d'ésser capaç de realitzar la gestió de manipular els 2400 expedients en 6,67 hores, quan la jornada laboral és de vuit hores.

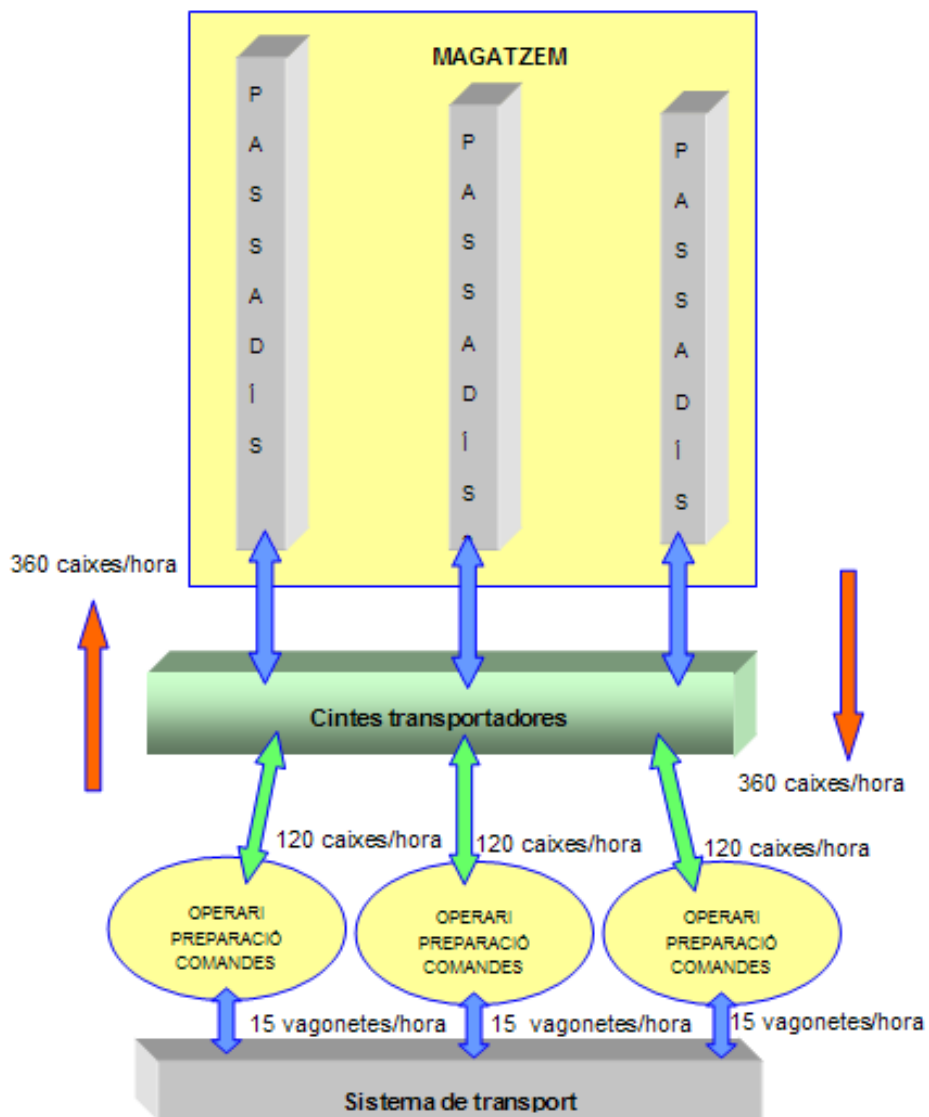
De les mateixes dades també s'extreu que cada operari ha d'ésser capaç de treure l'expedient desitjat de la caixa, ficar-lo dins el paquet d'expedients que un cop ple anirà dins la vagoneta i, posar en el lloc buit deixat a la caixa un expedient, que ha extret d'un altre paquet d'expedients a ésser retornats cap el magatzem, en trenta segons.

De les dades anteriors es pot obtenir, que si cada vagoneta es forma a partir de vuit caixes, el sistema de transport de vagonetes ha d'ésser capaç d'acceptar un flux mínim de 45vagonetes/hora.



$$\frac{1 \text{ vagoneta}}{8 \text{ caixes}} \cdot 360 \frac{\text{caixes}}{\text{hora}} = 45 \frac{\text{vagonetes}}{\text{hora}}$$

A la Fig. 2.10 es mostra el diagrama de flux de la instal·lació.



Taula 2.10. Diagrama de flux



3 Caracterització i llenguatge de simulació

La simulació es realitza amb el programa Witness 9.3 de Lanner Group. Aquest paquet informàtic és un programa que permet aplicar els conceptes bàsics sobre sistemes productius i logístics per realitzar una simulació temporal del sistema d'estudi.

3.1 Mètode de resolució

Previ a la modelització d'un sistema cal identificar amb claredat quins són els diferents tipus de processos que hi prenen part. Una vegada s'han identificat els processos es classifiquen en funció de les variables que governen el sistema com per exemple el temps que triga un operari de la zona de preparació de comandes en extreure un expedient d'una caixa. Clarament l'operari no trigarà sempre el mateix temps en realitzar l'operació cada cop i per tant, aquest procés se'l classificarà d'aleatori, i caldrà fer el model de manera que es tingui en compte aquesta aleatorietat.

Degut a l'elevat nombre de processos involucrats en el sistema a estudiar, és adequat utilitzar algun tipus d'eina de simulació informàtica, per a l'obtenció de resultats fiables, a través de la realització de múltiples experimentacions independents.

En general, els resultats que s'obtenen d'una simulació serveixen per a localitzar els colls d'ampolla de la instal·lació, així com per determinar les capacitats del sistema i determinar també el funcionament de la instal·lació en cas de variar les condicions de funcionament, és a dir possibles avaries o la incorporació de nous elements.

3.2 Elecció del llenguatge de simulació

Per a la realització de simulacions per ordinador, es pot abordar el problema de dues maneres:

- Paquets informàtics de simulació específics. Aquests programes són de fàcil utilització, ja que inclouen una sèrie d'elements implementats de manera que sigui més ràpida i senzilla la construcció del model.
- Llenguatges informàtics generals. Són llenguatges que permeten una modelització més personalitzada de la instal·lació, però requereixen un alt nivell de domini.

S'ha escollit d'utilitzar un paquet informàtic específic anomenat Witness 9.3 ja que la seva eficiència ha sigut provada amb anterioritat en altres projectes.



3.3 Llenguatge de simulació Witness

3.3.1 Elements de Witness i aplicació

A continuació s'inclou una descripció general, amb algun exemple, dels diferents elements que proporciona el paquet informàtic que són utilitzats en les realitzacions dels models a simular.

D'entre els elements disponibles per a la simulació d'objectes físics, s'han utilitzat els següents:

➤ Entitats, *Parts*

Les entitats representen els elements que van avançant per les diferents zones del procés real. Aquests elements poden ésser modificats al llarg del procés.

En els models realitzats, s'utilitzen les *parts* per a simular les caixes i les vagonetes, ja que són aquestes les que van avançant al llarg de les diferents zones

➤ Pulmons, *Buffers*

Són elements que permeten acumular *parts* i es poden classificar com a magatzems LIFO i FIFO segons escaigui.

En els models realitzats, els *buffers* s'utilitzen per a simular les capacitats dels diferents passadissos.

➤ Màquines, *Machines*

Són elements físics que poden simular qualsevol procés en que hi hagi un temps de cicle associat.

En els models s'usen les *machines* per a simular els operaris de la zona de preparació de comandes i de recepció a planta, taules elevadores i taules transferidores.

➤ Cintes transportadores, *Conveyors*

Són elements que simulen el funcionament de cintes transportadores de qualsevol tipus i poden ésser programades de manera que poden, o no, acumular les *parts* a sobre seu.

En la instal·lació, totes les cintes transportadores, a l'igual que els rails del transport aeri, s'han simulat com a conveyors.



➤ Camins, *Tracks*

Aquests elements permeten simular trajectes, que realitza un vehicle, d'anada i tornada entre dos punts tenint en compte el temps de trajecte més el temps de les operacions que s'hagin de realitzar a l'inici i al final de cada trajecte.

S'han usat *tracks* per a simular els carrils per on circulen els transelevadors.

➤ Vehicles, *Vehicles*

Són els elements que transporten les *parts* pels *tracks* des d'un origen fins a un destí i viceversa.

Els transelevadors de la instal·lació estudiada s'han modelitzat amb aquest element.

D'entre els elements disponibles per a la programació d'objectes físics, s'han utilitzat els següents:

➤ Atributs

Els atributs serveixen per assignar característiques a cadascuna de les *parts*. Els atributs d'una *part* poden canviar al llarg de la simulació, però només en entrar o sortir d'elements físics.

Les parts que simulen les caixes de la zona de preparació de comandes porten lligades un atribut individual anomenat picker, aquest atribut indica a quin operari de la zona de preparació de comandes ha d'anar la caixa en qüestió.

➤ Variables

Les variables emmagatzemen valors que poden ésser modificats en qualsevol moment de la simulació.

En la simulació s'usen les variables per a generar comptadors. En general, els temps de cicle dels elements físics són variables, a les que s'assigna valors a través d'accions.

➤ Funcions

El programa, disposa d'una sèrie de funcions ja implementades per a càlcul de certes operacions matemàtiques com trobar mínims o màxims. Però també permet fer funcions personalitzades depenent de les necessitats de l'usuari.

Un exemple de funcions creades per l'usuari són aquelles per a trobar els temps que triguen els transelevadors en entrar i treure caixes, depenent de la col·locació de les caixes dins el magatzem.



➤ Distribucions probabilístiques

El programa incorpora una sèrie de distribucions probabilístiques que permeten simular diferents comportaments aleatoris d'un sistema basant-se en probabilitats. El programa permet que l'usuari pugui crear les seves pròpies distribucions.

Entre d'altres distribucions, el programa pot utilitzar distribucions *normals*, *uniformes*, *exponencials*, etc.

3.3.2 Obtenció de resultats

A l'hora d'obtenir resultats s'ha de tenir en compte quin tipus de model s'està simulant, ja que, si el model està basat en l'aleatorietat, s'haurà de repetir l'experimentació varies vegades a fi d'obtenir una mostra de resultats independents que permetin una bona caracterització del comportament real del sistema. Mentre que si el model no incorpora aleatorietat, n'hi haurà prou amb una sola experimentació.

3.3.3 Experimentació

Com un experiment no és suficient per treure conclusions sobre el comportament d'un sistema amb aleatorietat, Witness permet definir i executar un número determinat de vegades la simulació d'un model de forma automàtica i independent.



4 Anàlisi del sistema i construcció dels models

Previ a simular el funcionament del sistema, cal fer una anàlisi dels components reals i de les característiques del sistema per a poder modelitzar-los de la forma més adient possible. Un cop s'han modelitzat tots els elements necessaris per a la simulació del sistema, es connecten entre sí, de manera que el conjunt d'un grup d'aquests elements modelitzats sigui capaç de representar el funcionament de la instal·lació o d'una part de la mateixa.

Per a poder obtenir els límits de funcionament de les diferents zones de la instal·lació, s'han creat quatre models de simulació diferents, un per a cada zona de la instal·lació.

S'han creat aquests quatre models ja que el funcionament de cadascun d'aquests per separat no té perquè coincidir amb el funcionament de tot el conjunt sencer, donat que, pot ser que el ritme de funcionament d'una zona sigui més lent que el d'una altra, i per tant, en cas de simular tot el model no podríem trobar el límit de funcionament d'una zona ràpida, ja que quedaria limitada per la zona de funcionament lenta. Per tant, a l'hora de simular els models per separat es considera que el funcionament d'un model no es veu afectat pel comportament d'un altre model. És a dir, la part simulada pot arribar a funcionar al màxim de la seva capacitat.

També s'ha realitzat la simulació del model complet, ja que és el model complet el que definirà la validesa del funcionament de la instal·lació.

A la Fig. 4.1 estan representats els diferents models a realitzar.

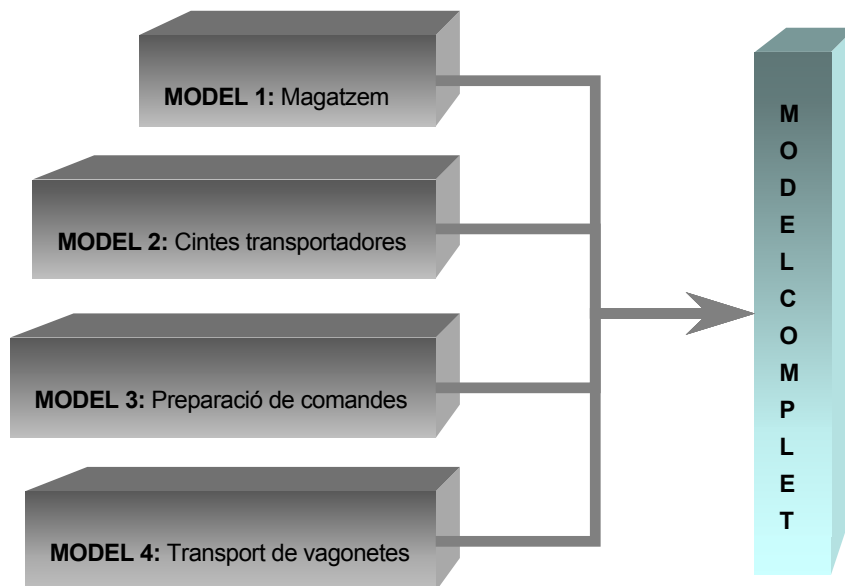


Fig. 4.1. Esquema dels diferents models a simular



- Magatzem (model 1)
- Cintes transportadores (model 2)
- Preparació de comandes (model 3)
- Sistema de transport de vagonetes per rail aeri (model 4)
- Model complet

En general, s'han generat els models de simulació de manera que s'evita la utilització dels casos més favorables, a fi de representar el funcionament dels sistemes dins de situacions que defineixen els límits de funcionament de la instal·lació.

Cal especificar que si algun dels models individuals no compleix amb les especificacions de disseny, el model complet tampoc les pot complir i, per tant, es considera que la instal·lació està mal projectada.

4.1 Model 1: Magatzem

La modelització del magatzem engloba la distribució física del magatzem i els transelevadors, ja que són l'element clau del magatzem essent els responsables d'entrar i treure les caixes de dins el magatzem. Per tant, en aquest model es simula el funcionament independent de cadascuna de les tres màquines funcionant al 100% del temps.

L'objectiu d'aquest model és comprovar que entre les tres màquines són capaces de subministrar el flux de caixes adients per a la consecució de l'objectiu marcat per Siemens de 360 caixes/hora.

Cal recordar però, que l'obtenció d'aquest flux implica que els transelevadors són capaços de manipular totes les caixes necessàries en 6,67 hores.

4.2 Model 2: Cintes transportadores

La construcció del model de les cintes transportadores engloba el sistema de transport que uneix el magatzem amb les estacions de preparació de comandes.

L'objectiu d'aquest model és el de comprovar el flux màxim de caixes d'expedients que és capaç d'absorbir el sistema de cintes transportadores sense saturar-se i comprovar que és superior a les 360 caixes/hora necessàries per al compliment de les especificacions del projecte en un temps de 6,67 hores.



4.3 Model 3: Zona de preparació de comandes

La construcció del model de la zona de preparació de comandes fa referència als operaris de les estacions de preparació de comandes.

L'objectiu d'aquest model és determinar el flux màxim de caixes que poden manipular els operaris treballant al 100% i si compleixen amb les especificacions tenint en compte que cada operari triga una mitja de trenta segons en realitzar una operació.

4.4 Model 4: Sistema de transport per rail aeri

La modelització del sistema de transport per rail aeri vol determinar si el sistema de transport és capaç d'absorbir les 45 vagonetes/hora necessàries per aconseguir l'objectiu de repartir els 2400 expedients en 6,67 hores.

4.5 Model complet

Recordar que si algun dels models individuals no compleix amb les especificacions de disseny, el model complet tampoc les pot complir.

La simulació del model complet permet veure la interacció entre les diferents zones, i detectar altres problemes que no s'han pogut identificar amb les simulacions individuals dels altres models. És amb la simulació del cas complet que es pot determinar el grau de funcionament de la instal·lació i comprovar si la instal·lació compleix amb les especificacions de disseny.





5 Model 1: Magatzem

En aquest capítol es descriu l'objectiu del model i la presentació dels resultats obtinguts, així com la manera de simular el funcionament dels transelevadors en funció de la distribució de les caixes dins el magatzem.

5.1 Anàlisi

Aquest model té com objectiu definir el flux màxim de caixes que són capaços de manipular cadascun dels transelevadors independentment del funcionament de la resta de la instal·lació i independentment del funcionament dels altres transelevadors, en tres situacions de funcionament diferents caracteritzades per la reordenació nocturna del magatzem i per la probabilitat d'haver de recol·locar caixes que fan nosa.

El flux màxim de cada transelevador està determinat per la seva velocitat de treball i pel recorregut que ha de fer dins el magatzem per introduir i/o extreure les caixes d'expedients necessaris.

S'intenta gestionar el funcionament dels transelevadors de la manera més coherent possible, ja que, el complex funcionament real dels transelevadors és gestionat per un programa informàtic del qual se'n desconeixen els criteris de funcionament.

Els transelevadors de la instal·lació proposada, tenen la possibilitat de poder entrar i extreure caixes de dues en dues. A afectes pràctics de la simulació s'ha considerat que sempre entren o extreuen les caixes de dues en dues, ja que en la realitat sempre s'intenta minimitzar el nombre de desplaçaments de les màquines.

La funció bàsica d'un transelevador és la d'extreure o bé introduir caixes en el passadís corresponent del magatzem. En general s'intenta combinar aquests moviments per evitar que el transelevador circuli sense càrrega i, per tant, desaprofitant el seu temps de funcionament.

El moviment que combina la introducció de caixes amb l'extracció es coneix com a cicle combinat i es basa en aprofitar el viatge que fa el transelevador per a deixar una caixa dins el magatzem per extreure'n una altre.

A la Fig. 5.1 es pot veure l'esquema del cicle combinat.



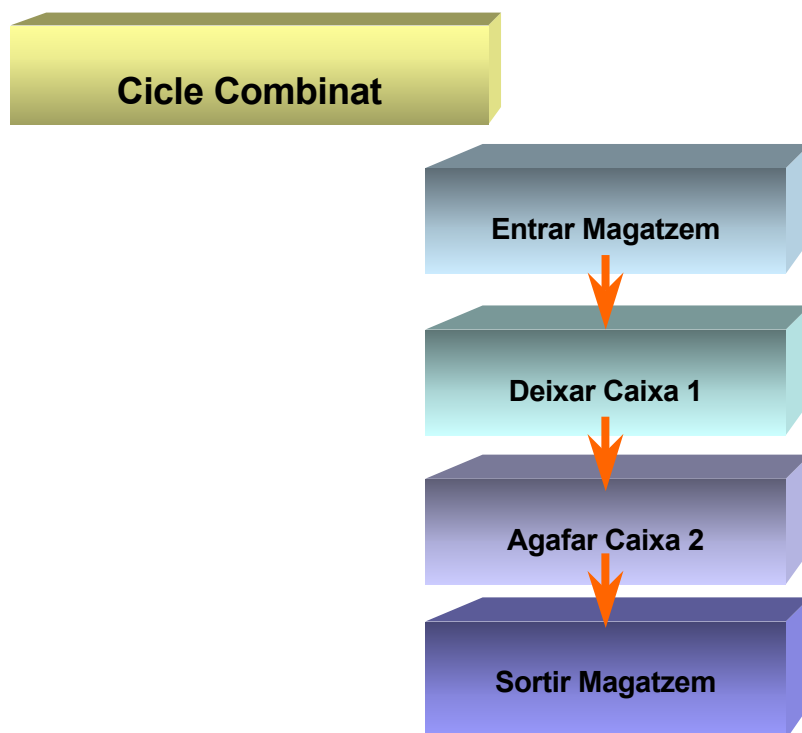


Fig. 5.1. Esquema de cicle combinat

És cert però, que a vegades només cal introduir o bé, extreure caixes del magatzem. Aquest cas es coneix com a cicle simple.

A la Fig. 5.2 es mostren les variants del cicle simple.

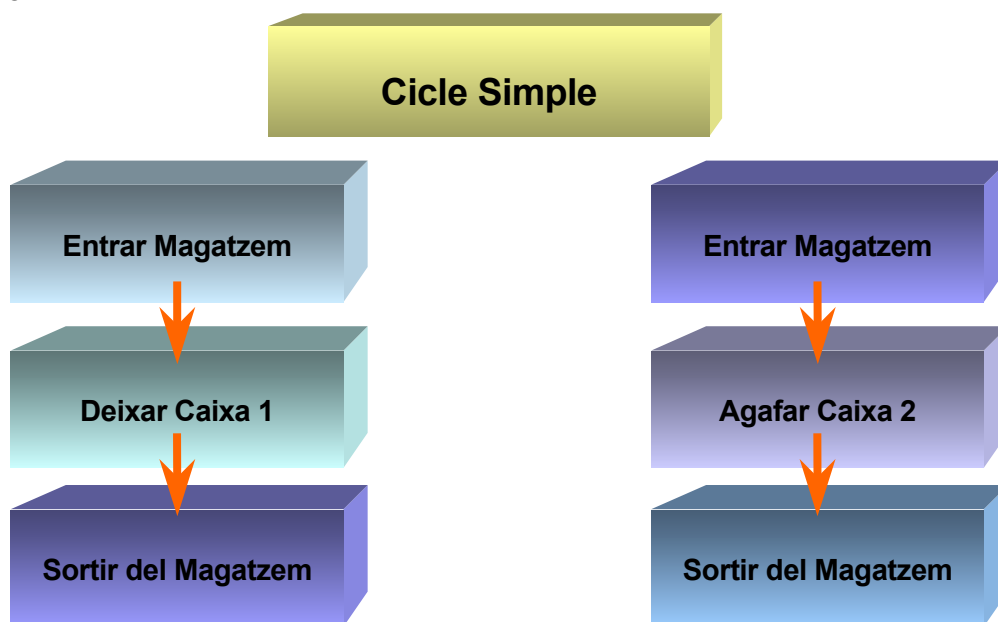


Fig. 5.2. Variants del cicle simple



Un exemple clar d'aquest cas és el moment en que comença a funcionar la instal·lació. En aquest punt no hi ha cap caixa circulant per fora del magatzem, i per tant els transelevadors han de treure caixes del magatzem cap a la zona de preparació de comandes per a que els operaris puguin començar a atendre les necessitats del dia. I viceversa, en el moment en que els operaris ja no tenen més comandes a atendre, els transelevadors només s'encarreguen de retornar les caixes utilitzades pels operaris de la zona de preparació de comandes cap al magatzem.

Dins els passadissos, cada caixa va ubicada en un espai, el qual queda determinat per les següents coordenades:

- Alçada de prestatge respecte el terra
- Longitud, distància des del principi del passadís
- Profunditat del prestatge
- Costat de passadís

Tant la profunditat del prestatge com el costat del passadís són necessaris a l'hora de realitzar el model ja que els passadissos disposen de prestatges a cantó i cantó, i en general aquests prestatges són de doble profunditat.

Cada vegada que cal introduir, extreure o recol·locar una caixa d'un passadís se'n genera la posició aleatòriament, seguint distribucions uniformes, sempre evitant la generació d'espais incoherents com per exemple coincidència de posició entre la caixa a deixar i la caixa a extreure.

• **Reordenació nocturna**

En la instal·lació real, existeix la possibilitat de reorganitzar les caixes durant la nit de manera que es situen les caixes a extreure el més proper a la sortida possible i llestes per ésser extretes de dues en dues minimitzant així el temps d'extracció.

Ja que es desconeix el grau de reordenació nocturna que es podria assolir en la instal·lació projectada, en el model realitzat s'ha optat per permetre la possibilitat d'incloure reordenació nocturna des del 0 fins al 100% del magatzem. El fet d'existir o no, afecta directament a la possibilitat de generar posicions contingudes en el mateix prestatge per a caixes a introduir o extreure, ja que només és possible generar posicions dobles si existeix reordenació. S'ha escollit aquest criteri de manera que, per a un petit percentatge de reordenació nocturna, en general s'obliga als transelevadors a fer més moviments per a entrar i treure les caixes, perjudicant així, el funcionament de la instal·lació.



- **Introducció de caixes**

La introducció de caixes al magatzem es fa de dues en dues, i per tant s'hauran de generar dues posicions aleatòries per a poder-les allotjar, evitant en tot moment que els espais generats coincideixin entre sí i, que tampoc coincideixin amb les posicions d'entrada/sortida del passadís en qüestió, ja que en la realitat aquestes posicions han d'estar sempre lliures per a la introducció/extracció de les caixes del passadís.

A afectes pràctics, es considera que les caixes que s'introdueixen en el passadís es dipositen en la posició davantera d'un prestatge, i que només es poden posar les dues caixes en el mateix prestatge en funció de la reordenació nocturna assignada al passadís. En cas de no existir reordenació nocturna, com ja s'ha comentat anteriorment, no es pot deixar les caixes en el mateix prestatge.

A la Fig. 5.3 s'observa la generació dels espais per a les caixes a introduir, en un passadís qualsevol, en funció de la reordenació nocturna.

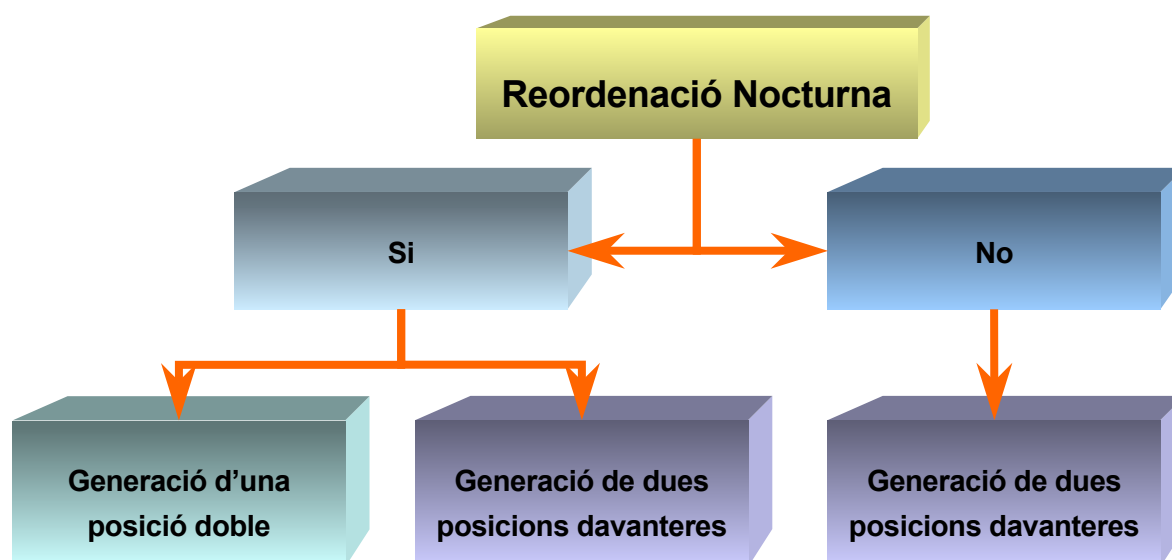


Fig. 5.3. Generació dels espais de les caixes per a introduir en un passadís

- **Extracció de caixes**

Com en el cas de la introducció de caixes en el passadís, l'extracció també es realitza per parelles, i es generen les dues posicions evitant en tot moment que els espais generats coincideixin entre sí i, que tampoc coincideixin amb les posicions d'entrada/sortida del passadís amb l'afegit de que les posicions de les caixes a extreure no coincideixin amb les posicions de les que s'han introduït en el mateix cicle.



Es pot donar el cas de que alguna de les caixes a extreure es trobi en la posició posterior d'un prestatge, i que la posició davantera estigui ocupada per una caixa que no ha de sortir del passadís. En aquest cas es genera un espai buit al passadís per a recol·locar aquesta caixa en un altre prestatge i poder accedir a la que s'ha d'extreure.

Donat que es desconeix l'ocupació real del magatzem, en cas de que la posició generada per a una caixa a extreure, correspongui a la posició posterior d'un prestatge, la probabilitat de que la posició davantera estigui ocupada per una caixa no desitjada, ve fixada per un valor que es pot variar, a fi d'afavorir o perjudicar el temps total necessari per a realitzar l'extracció. Aquest valor se'l coneix com a nivell d'ocupació.

Només existeix la possibilitat de que les caixes a extreure estiguin juntes en el mateix prestatge si existeix reordenació nocturna, i com en el cas anterior, la probabilitat de generar un espai doble és igual al nivell de reordenació.

En cas de no existir la possibilitat de posició doble que contingui les dues caixes a extreure, els espais que aquestes ocupen tenen el 50% de probabilitats d'ésser generats en la posició posterior d'un prestatge.

A la Fig. 5.4 s'observa la generació dels espais per a les caixes a extreure, en un passadís qualsevol, en funció de la reordenació nocturna.

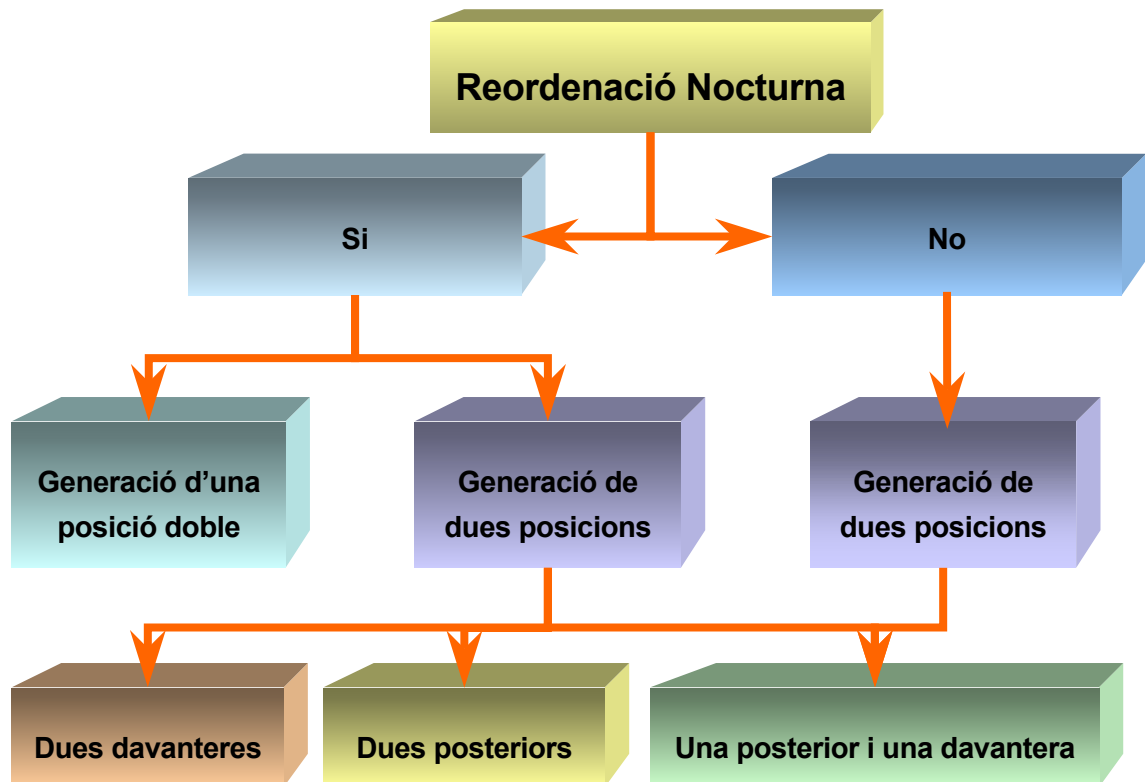


Fig. 5.4. Generació de les posicions de les caixes a extreure d'un passadís



- **Generació d'espais buits**

Els espais buit només es generen a fi de poder recol·locar aquelles caixes que dificulten l'accés a les caixes a extreure.

De la mateixa manera que els altres casos de generació d'espais, en la generació d'espais buits s'evita en tot moment que els generats coincideixin entre si, i que no coincideixin ni amb les posicions d'entrada/sortida del passadís ni amb les posicions de les caixes a extreure o introduir en el mateix cicle.

Al contrari que els altres casos, la generació d'espais buits per a la recol·locació de caixes no té cap relació amb el nivell de reordenació nocturna, però es considera que en cas d'haver de generar dos espais buits per a recol·locar-hi caixes, la probabilitat de que existeixi un espai buit doble no serà més gran del 10 %, i en cas de no ésser així, els espais buit sempre seran posicions davanteres.

S'ha escollit aquest criteri de manera que en cas d'haver-se de generar dos espais buits, la major part dels cops es generaran dues posicions contingudes en prestatges diferents, obligant així als transelevadors a realitzar més viatges dels necessaris.

A la Fig. 5.5 es mostra la generació dels espais buits en funció de les posicions que ocupen les caixes a extreure.

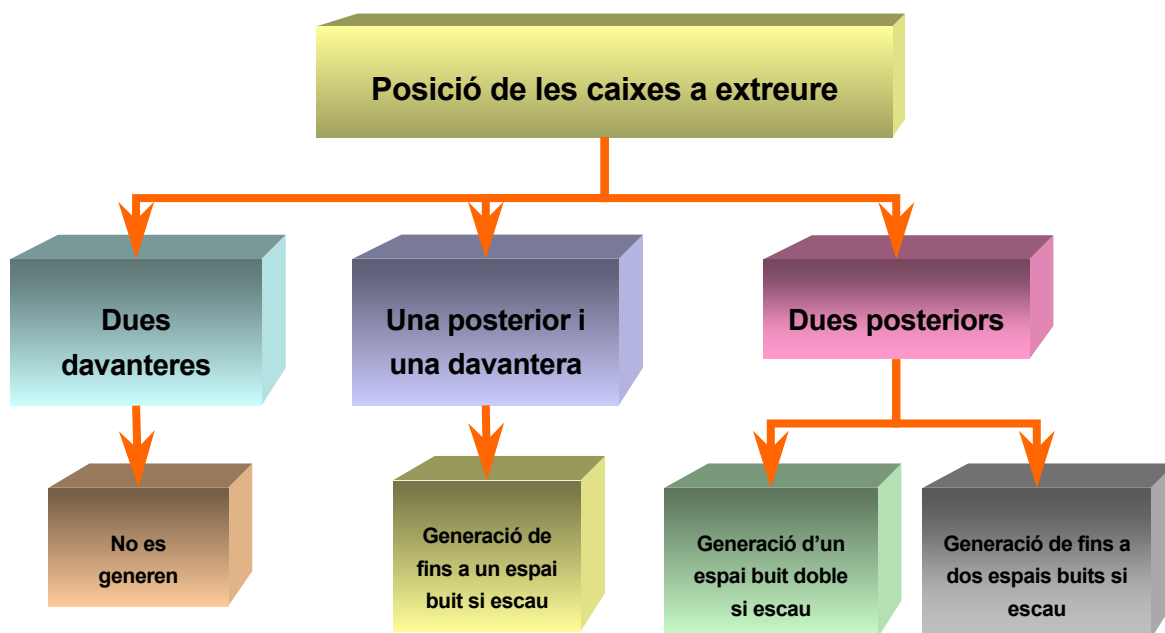


Fig. 5.5. Generació de les posicions dels espais buits per a la recol·locació de caixes



- **Generació dels camins**

Sigui quin sigui el mode de funcionament dels transelevadors, cicle simple o combinat, tots els trajectes que realitzen dins els passadissos es basen en camins.

És de suposar que el programa de gestió que controla els transelevadors, en la realitat, es basa en camins mínims, on, el temps necessari per anar d'un origen a un destí és el més curt possible. Però seguint el criteri d'evitar un perfecte funcionament de la instal·lació, en general, els camins que es generen no tenen perquè coincidir amb el camí mínim, però sí que garanteixen una seqüència de moviments coherent.

Un cop generades les posicions de les caixes a recollir, deixar i/o recol·locar, s'escull el camí a seguir i es calculen els temps que triguen els transelevadors des de que entren al magatzem fins que en surten seguint la seqüència de moviments escaients.

A l'hora de calcular el temps que triga un transelevador en realitzar un trajecte entre dos punts, cal tenir en compte el temps propi del desplaçament i el temps que triga en recollir o deixar la caixa.

Les posicions de les caixes i espais buits, així com les entrades i sortides dels passadissos, venen determinades per coordenades tridimensionals X, Y i Z.

El transelevador és una màquina que es desplaça longitudinalment al llarg d'un rail, i a la vegada disposa d'una cabina elevadora que s'eleva fins a l'alçada necessària per a agafar/dipositar la caixa que faci falta. Aquesta cabina està dotada d'un braç telescòpic, que penetra dins les prestatgeries per agafar o dipositar fins un màxim de dues caixes a la vegada.

El moviment horitzontal i el vertical són independents i per tant, el temps que triga el transelevador en anar d'una posició (X1, Z1) fins a la posició (X2, Z2) ve determinat pel màxim d'entre el temps que triga en anar de X1 a X2 i el temps que triga en anar de Z1 a Z2.

$$T_{1,2} = \text{MAX}(T_{X1,X2}; T_{Z1,Z2})$$

x: Desplaçament horitzontal.

z: Desplaçament vertical.

On els temps són funció de la velocitat i l'acceleració del transelevador en horitzontal o vertical segons escaigui.

Al considerar les acceleracions dels transelevadors, es poden donar dos tipus de situacions aplicables tant en direcció horitzontal com en vertical:



- 1. La distància a recórrer és prou llarga i el desplaçament del transelevador es pot dividir en tres trams: tram d'acceleració, tram de recorregut a màxima velocitat constant i tram de desacceleració.
- 2. El transelevador no recorre prou distància per assolir la màxima velocitat constant i llavors el seu desplaçament només té un tram d'acceleració i un tram de desacceleració.

Aquests dos casos es representen en els gràfics de la Fig:5.6.

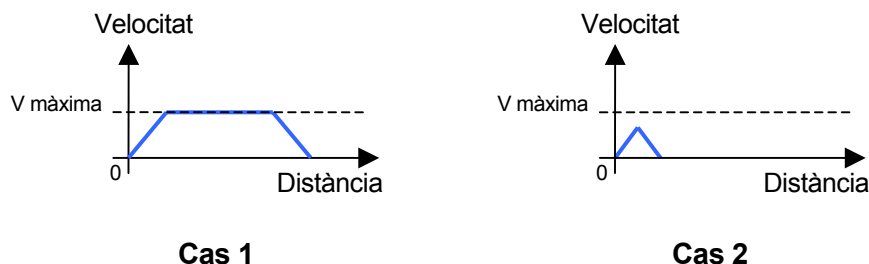


Fig. 5.6. Velocitat adquirida en funció de la distància a recórrer

En el cas 1 el temps necessari per assolir la velocitat constant màxima del transelevador s'obté a partir de les equacions del moviment uniformement accelerat.

$$v_{\max} = v_0 + a \cdot (t - t_0) \quad \Rightarrow \quad t = \frac{v_{\max}}{a}$$

Amb les equacions del moviment uniformement accelerat també es calcula la distància necessària per assolir la velocitat constant.

$$x = v_0 \cdot (t - t_0) + \frac{1}{2} a \cdot (t - t_0)^2 \quad \Rightarrow \quad x = \frac{1}{2} a \cdot t^2 = \frac{1}{2} a \cdot \left(\frac{v_{\max}}{a} \right)^2 \quad \Rightarrow \quad x = \frac{1}{2} \frac{v_{\max}^2}{a}$$

Per a trobar la distància límit que separa el cas 1 del cas 2, només cal adonar-se que el temps i la distància necessaris per desaccelerar són els mateixos que per accelerar i, per tant, la distància límit que separa el cas 1 del cas 2 és dues vegades la distància x calculada anteriorment.

$$X_{\lim} = 2 \cdot x = 2 \cdot \frac{1}{2} \frac{v^2}{a} \quad \Rightarrow \quad \boxed{X_{\lim} = \frac{v^2}{a}}$$

Si la distància x a recórrer és inferior a X_{\lim} , el desplaçament del transelevador constarà d'un tram d'acceleració i del corresponent tram de desacceleració. Aquests dos trams tenen el mateix temps de recorregut t i són de la mateixa longitud x amb:



$$t = \frac{T_{tot}}{2} \quad i \quad x = \frac{L}{2}$$

On L correspon a la distància total a recórrer

Aïllant el temps t de l'equació del moviment uniformement accelerat obtenim el temps necessari per recórrer el tram d'acceleració:

$$x = v_0 \cdot (t-t_0) + \frac{1}{2} a \cdot (t-t_0)^2 \quad \Rightarrow \quad t = \sqrt{\frac{x \cdot 2}{a}}$$

Substituint x per $\frac{L}{2}$, obtenim $t = \sqrt{\frac{L}{a}}$ i, per tant, el temps total de recorregut és:

$$T_{1,2} = 2 \cdot t = 2 \sqrt{\frac{L}{a}}$$

Si la distància x a recórrer és superior a X_{lim} , el desplaçament del transelevador constarà de tres trams: un tram d'acceleració, un tram de recorregut a velocitat constant i un tram de desacceleració.

La distància total recorreguda en els trams d'acceleració i desacceleració és X_{lim} , i el temps necessari per recórrer-la és dues vegades el temps d'acceleració:

$$t_{acc} = 2 \cdot t = 2 \cdot \frac{V_{max}}{a}$$

El temps de recorregut a velocitat constant es calcula amb la següent fórmula:

$$t_{vmax} = \frac{\text{distància a velocitat màxima}}{\text{velocitat màxima}} = \frac{\text{distància total} - \text{distància per accelerar i desaccelerar}}{\text{velocitat màxima}}$$

$$t_{vmax} = \frac{L - X_{limit}}{V_{max}} = \frac{L - \frac{V_{max}^2}{a}}{V_{max}}$$

El temps de recorregut total $T_{1,2}$ és la suma dels temps de recorregut dels tres trams:

$$T_{1,2} = t_{acc} + t_{vmax} = 2 \cdot \frac{V_{max}}{a} + \frac{L - \frac{V_{max}^2}{a}}{V_{max}}$$

A part del temps de recorregut entre dos posicions, cal tenir en compte el temps que triga el transelevador en introduir o treure el número desitjat de caixes de la prestatgeria. Aquest temps



depèn directament de la profunditat a la que ha d'arribar el braç telescòpic del transelevador dins la prestatgeria, la velocitat i l'acceleració amb que pot realitzar l'operació.

El temps que triga el transelevador en treure i tornar a recollir el braç telescòpic se l'anomena temps de forquilles i, com en el cas del recorregut, s'utilitzen les mateixes fórmules, però cal multiplicar els resultats per dos, ja que el braç telescòpic s'ha de treure i després recollir.

Així doncs, el temps total que triga el transelevador en realitzar un cicle, és igual a la suma de tots els temps de recorregut entre les diferents posicions més tants cicles de forquilles com hagin fet falta.

5.2 Resultats

Després de fixar els valors de reordenació nocturna i d'ocupació del magatzem per a la realització de tres experiments independents, s'obtenen els següents flux mitjos de caixes per a cicles combinats després d'executar les simulacions 10 vegades:

- Reordenació Nocturna = 0% i Ocupació = 100%

Aquests valors fixen que no és possible generar posicions dobles, i que totes les caixes a extreure que ocupen posicions posteriors en les prestatgeries estan obstruïdes per una caixa que s'ha de recol·locar per poder accedir a la caixa a extreure.

La Taula 5.1 mostra els valors obtinguts pels transelevadors dels passadissos corresponents per a un 0 i 100% de reordenació nocturna i ocupació respectivament.

Reordenació 0 % Ocupació 100%	MAX Temps de cicle	MIN Temps de cicle	MITJA Temps de cicle	CICLES/HORA	CAIXES/HORA
PASSADIS 1	72,13	26,36	52,38	68	136
PASSADIS 2	66,67	27,82	43,06	83	166
PASSADIS 3	61,75	26,93	44,39	81	162
SUMA					464

Taula 5.1. Valors de temps i flux per reordenació=0% i ocupació=100%



- Reordenació Nocturna = 0% i Ocupació = 50%

Aquests valors fixen que no és possible generar posicions dobles, i que el 50% de les caixes a extreure que ocupen posicions posteriors en les prestatgeries estan obstruïdes per una caixa que s'ha de recol·locar per poder accedir a la caixa a extreure.

La Taula 5.2 mostra els valors obtinguts pels transelevadors dels passadissos corresponents per a un 0 i 50% de reordenació nocturna i ocupació respectivament.

Reordenació 0 % Ocupació 50%	MAX Temps de cicle	MIN Temps de cicle	MITJA Temps de cicle	CICLES/HORA	CAIXES/HORA
PASSADIS 1	68,45	19,6	40,6	88	176
PASSADIS 2	58,2	20,28	34,93	103	206
PASSADIS 3	60,38	18,78	35,03	102	204
SUMA					586

Taula 5.2. Valors de temps i flux per reordenació=0% i ocupació=50%

- Reordenació Nocturna = 30% i Ocupació = 85%

Aquests valors fixen que existeix una reordenació nocturna del 30% que permet generar posicions dobles el 30% de les vegades i, que el 85% de les caixes a extreure que ocupen posicions posteriors en les prestatgeries estan obstruïdes per una caixa que s'ha de recol·locar per poder accedir a la caixa a extreure.

La Taula 5.3 mostra els valors obtinguts pels transelevadors dels passadissos corresponents per a un 30 i 85% de reordenació nocturna i ocupació respectivament.

Reordenació 30% Ocupació 85%	MAX Temps de cicle	MIN Temps de cicle	MITJA Temps de cicle	CICLES/HORA	CAIXES/HORA
PASSADIS 1	70,37	20,20	44,59	80	160
PASSADIS 2	71,96	19,94	39,58	90	180
PASSADIS 3	60,95	18,78	37,75	95	190
SUMA					530

Taula 5.3. Valors de temps i flux per reordenació=30% i ocupació=85%



Com es pot observar, en tots tres experiments la suma dels flux de caixes que proporcionen els transelevadors és sempre superior a les 360 caixes/hora necessàries per a complir amb els requeriments de la instal·lació.



6 Model 2: cintes transportadores

En aquest capítol es descriu com es simula el funcionament de les cintes transportadores que uneixen el magatzem amb la zona de preparació de comandes i es presenten els resultats obtinguts per aquest model.

6.1 Anàlisi

L'objectiu d'aquest model és determinar el flux màxim de caixes que poden circular pel circuit de cintes transportadores sense arribar a col·lapsar i comparar el flux obtingut amb el flux teòric que garanteix un correcte funcionament de la instal·lació.

Cal tenir en ment que, tots els elements que formen el circuit de cintes transportadores tenen temps cicle o velocitats fixes, i per tant no hi ha aleatorietat en els resultats.

En realitat, el flux total de caixes que circula per les cintes transportadores depèn de la capacitat d'introducció/extracció de caixes dels transelevadors i del temps que necessiten els operaris de la zona de preparació de comandes per realitzar les seves operacions. Però interessa trobar el flux de caixes que són capaces d'absorbir les cintes transportadores sense dependència de la possible eficiència dels transelevadors i la dels operaris de la zona de preparació de comandes.

Ja que en aquest model interessa fer circular el màxim de caixes possible sense les interaccions dels transelevadors i operaris, es considera que el temps d'operació dels operaris és de zero, que sempre es disposa de caixes llestes per entrar al circuit de cintes transportadores i, que mai es formen cues a la sortida de les cintes per entrar al magatzem mitjançant els transelevadors.

Cada caixa té assignada una zona de preparació de comandes concreta i, per tant, un cop la caixa entra al circuit es dirigeix cap a l'estació assignada i després retorna al magatzem sense passar per les altres zones. S'opera d'aquesta manera a fi de simular que tots els expedients necessaris per a complir la comanda es troben en caixes diferents, obligant a gestionar el màxim nombre de caixes possible.

El transport de les caixes està format per una sèrie de taules transportadores que, connectades entre sí permeten transportar les caixes des del magatzem fins les respectives zones de preparació de comandes i viceversa. Cadascun d'aquests elements mecànics té un temps de cicle o una velocitat de transport fix en funció del tipus d'element i d'operació a realitzar. Entenent com a temps de cicle al temps que triga un element de transport en tornar a la seva posició de repòs.

El circuit de cintes transportadores se'l pot representar, per a millor comprensió del lector, com un anell amb tres punts d'injecció/extracció de caixes corresponents als transelevadors i, tres



anells paral·lels que representen les desviacions del circuit cap a cadascuna de les zones de preparació de comandes.

6.2 Resultats

En aquest cas, el model no té aleatorietat ja que es tracta de màquines amb temps de cicle o velocitat fixes i, per tant, n'hi ha prou amb executar la simulació una vegada, perquè per més simulacions que es facin sempre s'obté el mateix resultat.

Executant la simulació del circuit de cintes transportadores, s'obté que el circuit de cintes és capaç de gestionar 19200 caixes en vuit hores, resultat que implica un flux de caixes de:

$$\frac{19200 \text{ caixes}}{8 \text{ hores}} = 2400 \frac{\text{caixes}}{\text{hora}} \text{ o el que és el mateix } \left(\frac{2400 \frac{\text{caixes}}{\text{hora}}}{3600 \frac{\text{segons}}{\text{hora}}} \right)^{-1} = 1,5 \frac{\text{segons}}{\text{caixa}}.$$

Com es pot veure, el flux obtingut és molt superior al de 360 caixes/hora i la mitja de temps entre caixes és de 1,5 segons.

Amb aquests resultats es pot dir, en principi, que les cintes transportadores no limiten el bon funcionament del sistema.

Tot i així, en la simulació s'observa que les entrades i sortides de les zones de preparació de comandes són els punts més conflictius del circuit i es troben bloquejades al voltant del 48% del temps.

El bloqueig és degut a que, al ser zero el temps que triguen els operaris en fer les seves tasques, les caixes que surten de les estacions de preparació de comandes coincideixen amb el pas constant de caixes que van o venen d'altres zones de preparació de comandes.



7 Model 3: zona de preparació de comandes

En aquest capítol es descriu com es simula la manera d'operar dels operaris de la zona de preparació de comandes i es presenten els resultats obtinguts per aquest model.

7.1 Anàlisi

L'objectiu d'aquest model és determinar el flux màxim de caixes que poden manipular els operaris i si amb el flux aconseguit es compleixen les especificacions necessàries per al bon funcionament de la instal·lació.

A l'hora de plantejar aquest model, es considera que els operaris treballen el 100% del temps, és a dir, sempre disposen de tots aquells elements necessaris per a realitzar la seva feina i no descansen mai.

Partint de que un operari ha d'agafar un expedient de la caixa per introduir-lo en la vagoneta i retornar un expedient de la vagoneta cap a la caixa, es considera que un operari és capaç de realitzar l'operació en trenta segons.

Si es considera que els operaris sempre fan l'operació en trenta segons i que no disposen de temps perduts, s'obté el següent flux ideal per operari:

$$\frac{1\text{operació}}{30\text{s}} \cdot \frac{1\text{caixa}}{1\text{operació}} \cdot \frac{3600\text{s}}{1\text{hora}} = 120 \frac{\text{caixes}}{\text{hora}}$$

Resultat que compleix amb les especificacions de funcionament del sistema, però, donat que aquest valor és poc realista ja que no incorpora cap tipus d'aleatorietat i que en la realitat cap operari és capaç de repetir una operació exactament en el mateix temps, es simula el temps d'operació de cada operari de manera que segueixi la següent distribució Normal:

$$N \sim (30,5)$$

7.2 Resultats

Per comprovar que els operaris són capaços de complir amb les especificacions, es simula el funcionament dels operaris i es calcula el temps que triga cada operari en manipular 800 caixes, ja que hi ha tres operaris i en total s'han de manipular 2400 caixes.

La Taula 7.1 mostra el temps mig en segons i hores després d'executar la simulació deu vegades. Aquests resultats s'obtenen de la Taula A.1 de l'Annex A.



	Temps (s)	Temps (hores)
Mitja	24536,93	6,82

Taula 7.1. Temps mig que triguen els operaris en gestionar 2400 expedients

A partir d'aquestes dades s'observa que si els operaris treballen al 100% de les seves possibilitats són capaços de manipular les 2400 caixes en 24536,93 segons, o el que és el mateix, en 6,82 hores. Aquest resultat implica un flux total de 352caixes/hora.

Segons el flux desitjat i l'obtingut fan falta 6,67 i 6,82 hores per a completar el procés, però la jornada laboral és de vuit hores i per tant, existeix prou marge com per a poder augmentar el temps necessari per a realitzar l'operació de càrrega/descàrrega en el cas de que el temps de trenta segons inicialment previst fos insuficient.



8 Model 4: Sistema de transport per rail aeri

En aquest capítol es descriu com es simula el funcionament del sistema de transport per carril aeri de les vagonetes que traslladen els expedients destinats a una ala i planta determinada des de la zona de preparació de comandes i es presenten els resultats obtinguts per aquest model.

8.1 Anàlisi

Aquest model intenta determinar el flux de vagonetes màxim que és capaç d'admetre el sistema de transport sense col·lapsar-se i comparar el flux obtingut amb el flux teòric que garanteix un correcte funcionament de la instal·lació.

Com en el cas de les cintes transportadores, el flux de vagonetes que és capaç d'absorbir el sistema de transport de vagonetes per rail aeri depèn del temps que triguen en realitzar les tasques tant els operaris de la zona de preparació de comandes com aquells que s'encarreguen de recollir/distribuir els expedients a les plantes superiors. Com que en aquest cas s'intenta trobar el flux màxim que és capaç d'absorbir el sistema, es considera que els temps de cicle dels operaris és zero, tot i que les vagonetes passen per les estacions de treball d'aquests les vagonetes no s'aturen.

Degut a que el model no depèn de la zona de preparació de comandes i que tots els elements que componen aquest sistema de transport tenen un temps de cicle o velocitat fix, es tracta d'un cas determinista.

El circuit de rail aeri està format per una sèrie de rails que connecten les plantes superiors amb les zones de preparació de comandes. Per aquests rail circulen les vagonetes autopropulsades que transporten els expedients. Aquestes vagonetes tenen unes velocitats assignades en funció de si es desplacen horitzontalment o verticalment. En general tot el circuit està desdoblant, de manera que hi ha un rail d'anada i un de tornada. L'únic lloc on no es compleix aquesta condició, com ja s'ha comentat, correspon als tres rails que connecten el col·lector de vagonetes amb les tres zones de preparació de comandes; cada rail és d'entrada/sortida i per tant són els limitadors del sistema.

Primerament les vagonetes es troben en el col·lector de vagonetes; si alguna estació de preparació de comandes no disposa d'una vagoneta se n'hi envia una pel corresponent rail d'entrada/sortida. Un cop arriba la vagoneta a l'estació, l'operari carrega/descarrega els expedients i la vagoneta torna a marxar pel mateix rail d'entrada/sortida cap a les plantes superiors. Un cop queda lliure el rail d'entrada/sortida s'envia una altra vagoneta cap aquella estació de preparació de comandes. Per tant el col·lector només dóna pas a les vagonetes si existeix alguna estació sense vagoneta amb el seu corresponent rail d'entrada/sortida lliure.



Un cop les vagonetes abandonen les zones de preparació de comandes, segueixen els rails d'anada adients per arribar a la planta destí corresponent on, un operari les descarrega/carrega d'expedients. Després d'aquesta operació les vagonetes retornen pel rail de tornada corresponent fins al col·lector de vagonetes en espera d'ésser enviades cap a alguna zona de preparació de comandes.

8.2 Resultats

Executant la simulació amb les especificacions anteriors on el temps de cicle del operari és igual a zero, s'obté el següent flux de vagonetes en el col·lector:

$$\frac{305 \text{ vagonetes}}{4260 \text{ segons}} \cdot \frac{3600 \text{ segons}}{1 \text{ hora}} \approx 257 \frac{\text{vagonetes}}{\text{hora}}$$

El flux obtingut és clarament superior al de 45 vagonetes/hora que fa complir la distribució dels expedients en 6,67 hores.

Altres dades d'interès del sistema de transport es recullen a la Taula 8.1 on el temps registrats corresponen al temps que triga una vagoneta en realitzar tots els circuits possibles des de que surt del col·lector fins que hi torna, ja que les vagonetes es dirigeixen cap a diferents plantes i ales de l'hospital.

Taula de temps (s)	Ala A	Ala B	Oncologia
Planta 3	296	350	<i>No Aplica</i>
Planta 2	278	332	<i>No Aplica</i>
Planta 1	260	324	<i>No Aplica</i>
Planta 0	242	296	376

Taula 8.1 Temps de recorregut anada/tornada des del col·lector

Segons els resultats obtinguts, el destí més llunyà en temps és el d'oncologia amb 376s i, el més proper en temps, la planta 0 de l'ala A amb 242s.

Cal recordar però, que els temps obtinguts són considerant que el temps de cicle dels operaris és zero, i que pel sistema només hi circula la vagoneta de la qual se n'està calculant els diferents temps de recorregut, i per tant, aquests resultats poden distar molt de la situació normal de funcionament de la instal·lació, on les vagonetes han d'esperar a que els operaris



realitzin la seva feina i/o haver d'esperar a que una bifurcació quedi lliure d'altres vagonetes per a poder continuar el seu recorregut.





9 Model complet

En aquest capítol es descriu l'objectiu del model, així com les condicions d'interacció que lliguen els quatre models anteriors en un de sol i es presenten els resultats obtinguts.

9.1 Anàlisi

En aquest últim model es simula el funcionament de tota la instal·lació a estudiar, arribant a obtenir una visió més exacta de les interaccions entre els quatre models abans descrits, obtenint així una valoració del funcionament de la instal·lació projectada.

9.1.1 Hipòtesis generals

A l'hora d'executar la simulació del model complet es contemplen una sèrie de condicions de funcionament que o bé fixen condicions inicials, o bé determinen el funcionament de certs elements al llarg de la simulació.

En cap moment es considera la possibilitat de fallada de cap element de la instal·lació ja que es vol demostrar si el sistema té prou capacitat com per a complir els requeriments en una jornada laboral de vuit hores.

No es considera la possibilitat de fallada de cap element de la instal·lació, ja que, la instal·lació que es tracta és un magatzem d'historials clínics, on els expedients són individuals sense còpies i, per tant, en cas de fallada d'un transelevador no es podria accedir a aconseguir qualsevol dels expedients del passadís afectat fins que es repari el transelevador o bé que algun operari entri en el magatzem a buscar-los manualment. En qualsevol dels casos, el fet de tenir una aturada del sistema no desitjada, implica sobrepassar la duració d'un torn laboral de 8 hores.

Es considera que en el moment de l'inici de la jornada laboral els operaris ja disposen de tots els elements necessaris per a començar a treballar, és a dir, tenen una vagoneta i una caixa disponibles per a començar la càrrega i descàrrega d'expedients.

Cada caixa conté un expedient i a les vagonetes hi caben vuit expedients.

En un principi es demana que la instal·lació sigui capaç de treure/recollir 2400 expedients diaris. A afectes pràctics de la simulació, es considera que les vagonetes no poden abandonar la zona de preparació de comandes fins que s'han omplert amb vuit expedients. També se sap que a cada destí hi ha d'arribar trenta-cinc vagonetes, excepte a oncologia que n'hi arriben vint-i-cinc, i per tant la suma total de vagonetes a enviar és de 305. Ja que es considera que a totes les vagonetes hi van vuit expedients, el total d'expedients que s'han de treure/recollir és de 2440.



9.1.2 Transelevadors

Les condicions de funcionament dels transelevadors es fixen en un 30% de reordenació nocturna i en un 85% d'haver de recol·locar una caixa davantera en el cas de necessitar extreure la posterior de la mateixa prestatgeria. Fer referència al capítol 5, model 1.

Com ja s'ha comentat, els transelevadors només introdueixen o extreuen caixes del magatzem de dues en dues. A aquesta condició cal afegir que al llarg de la simulació es treballa sempre amb un nombre fix de caixes que repeteixen el cicle de sortir del magatzem per anar a la zona de preparació de comandes i tornar al magatzem, ja que al llarg de diversos experiments s'observa que, creant quaranta caixes que repeteixin el cicle tants cops com faci falta per simular el pas de 2440 caixes per la zona de preparació de comandes, no es col·lapsen les cintes transportadores i tampoc es deixa a cap operari parat per falta de caixes i per tant no és necessari crear 2440 caixes.

Inicialment el Passadís 1 conté deu caixes, el Passadís 2 en té deu i el passadís 3 vint i, els transelevadors les extreuen seguint cicles simples per a deixar el sistema llest per quan es posin a treballar els operaris cap als 400 segons de començar la simulació.

Un cop els transelevadors treuen totes les caixes del magatzem que han d'anar a la zona de preparació de comandes, passen a la inactivitat fins que els arriben caixes provenint de la zona de preparació de comandes a tornar a entrar al passadís del magatzem corresponent. En aquest moment passen a operar en cicles combinats, ja que les dues caixes que entren s'han de tornar a extreure per garantir el nivell fix de caixes en el sistema.

Segons aquesta condició, s'observa que els transelevadors no tenen perquè funcionar al 100% tot el temps.

Es recorda que cada vegada que s'introdueixen o extreuen caixes del magatzem es calcula el temps que es triga en realitzar l'operació mitjançant el mètode explicat en el model 1.

9.1.3 Cintes transportadores

A l'inici de la simulació les cintes de transport que connecten el magatzem amb les zones de preparació de comandes no contenen cap caixa.

Cada tipus de cinta transportadora té associada un temps de cicle o bé la velocitat amb que transporta una caixa. Aquestes característiques ja s'han comentat en l'apartat de descripció física de la instal·lació.

En funció de quin sigui el tipus de cinta transportadora, cadenes o rodets, es permet l'acumulació de caixes sempre i quan les dimensions de la taula ho permetin i aquesta sigui de rodets.



El programa que governa la simulació de les cintes transportadores està pensat de manera que intenta que els operaris de la zona de preparació de comandes no es quedin mai sense caixes d'on agafar expedients i que tampoc hi hagi més de tres caixes en espera a les estacions de preparació de comandes per operari, ja que es poden provocar col·lapses.

Si en total es disposa de quaranta caixes, fins a quatre per operari de preparació de comandes i dues entrant o sortint de cada magatzem, implica que hi ha un mínim de vint-i-dues caixes que es mouen per les cintes transportadores cap a la zona de preparació de comandes o cap al magatzem.

Un cop els transelevadors comencen a funcionar extraient caixes del magatzem es fan arribar quatre caixes a cada estació de preparació de comandes per a que als 400 segons de simulació els operaris comencin la jornada laboral amb totes les posicions de caixes en espera plenes. La resta de caixes s'acumulen a l'entrada de la zona de preparació de comandes a l'espera d'ésser necessitades.

Per a un bon funcionament de les cintes transportadores és vital garantir que no es quedin bloquejades les zones de preparació de comandes per un excés de caixes o per bloqueig de les entrades dels passadissos del magatzem.

Per garantir la primera condició es permet l'acumulació de caixes entre la sortida dels passadissos del magatzem i l'entrada a la zona de preparació de comandes en espera de que els operaris alliberin de caixes les estacions de preparació de comandes. En el precís moment en que un operari acaba de carregar/descarregar una caixa i l'envia de tornada al magatzem, es dona pas a una caixa que estava a l'espera d'entrar a la zona de preparació de comandes per a posar-se en la cua de caixes de l'estació de l'operari en qüestió.

Les caixes que abandonen la zona de preparació de comandes vers el magatzem tenen la mateixa probabilitat d'anar a qualsevol dels passadissos, tot i que els passadissos disposen d'una petita zona d'acumulació de caixes, pot donar-se el cas de que hi hagi un nombre seguit de caixes que vulguin anar a aquell magatzem, col·lapsant l'entrada i de rebot la resta de la instal·lació. En el cas de que una caixa vulgui entrar en un passadís pròxim al col·lapse, es desvia la caixa cap el següent passadís. L'ordre del desviament sempre és el mateix, del primer passadís al segon i del segon al tercer. No cal tancar el cercle d'enviar les caixes del tercer al primer, ja que el recorregut des de la zona de preparació de comandes fins al Passadís 3 és el més llarg, i essent el Passadís 3 el que té la capacitat de flux de caixes més elevat, no s'arriba a saturar mai.

9.1.4 Zona de preparació de comandes

Els operaris no comencen a treballar fins a l'instant 400 segons un cop començada la simulació, per a donar temps a que les caixes que treuen els transelevadors arribin fins a les estacions de preparació de comandes.



Els operaris un cop transcorreguts aquests 400 segons treballen sempre i quan disposin d'una caixa i d'una vagoneta. En cas de no disposar d'algun d'aquests elements, l'operari es troba aturat i en espera de rebre l'element que li falta per seguir treballant. És per aquesta raó que és important garantir la fluïdesa dels elements que necessita l'operari per treballar.

Com ja s'ha comentat els operaris realitzen cada operació d'extreure un expedient d'una caixa, introduir-lo en la vagoneta, i omplir l'espai deixat a la caixa amb un expedient extret de la vagoneta en un temps que segueix una distribució Normal $N\sim(30,5)$.

Es disposa de quinze vagonetes per al transport d'expedients pel sistema de transport per rail aeri des de les zones de preparació de comandes fins als punt de lliurament de les plantes superiors.

9.1.5 Transports de vagonetes

Inicialment totes les vagonetes es troben allotjades en el col·lector de vagonetes, quan comença la simulació es dona pas a tres d'elles per a que vagin cadascuna cap a l'estació de preparació de comandes via els rails d'entrada/sortida corresponents i estiguin en posició abans d'haver transcorregut els 400 segons que donen pas a que els operaris comencin treballar.

Un cop transcorregut aquest temps, els operaris carreguen/descarreguen les vagonetes d'expedients, i un cop passen vuit caixes per l'estació de preparació de comandes representa que la vagoneta és plena, ja que cada vagoneta pot contenir fins a vuit expedients dirigits a una planta i ala en particular.

La vagoneta plena marxa de l'estació de preparació de comandes cap al col·lector de vagonetes via el rail d'entrada/sortida pel que havia entrat, i marxa cap a la planta i ala destí. En el moment en que la vagoneta plena deixa lliure el rail d'entrada/sortida que condueix cap a l'estació de preparació de comandes, es dona pas des del col·lector a una vagoneta per a que es dirigeixi cap a aquella estació. Com es pot comprendre, aquesta situació és un tant crítica, ja que mentre no hi ha vagoneta a l'estació de preparació de comandes l'operari està inactiu. No es pot enviar una vagoneta abans de que quedi el rail d'entrada/sortida lliure ja que el rail és únic i els tres rails d'entrada/sortida corresponents a les estacions de preparació de comandes comparteixen el mateix ramal d'alimentació, i es podria donar el cas de que una vagoneta que espera a que el baixant corresponent quedi lliure, estigui bloquejant una vagoneta plena provenint d'un altre estació de preparació de comandes.

En total el sistema de transport arriba fins a nou destins diferents als quals s'hi envien un nombre determinat de vagonetes per a complir amb la demanda d'expedients necessaris per aquell destí. L'enviament de les vagonetes es programa de la següent manera a fi de no resultar un repartiment caòtic. Totes les vagonetes plenes van dirigides cap a un mateix destí, un cop s'hi han enviat prou vagonetes com per a complir amb la demanda d'expedients, es dirigeix les



següents vagonetes plenes cap un altre destí i, així, fins que les vagonetes han visitat tots els destins.

Un cop les vagonetes arriben al destí corresponent es descarreguen/carreguen d'expedients. Aquesta operació segueix una distribució de temps Normal $N\sim(40, 5)$. Un cop realitzada aquesta única operació s'envia la vagoneta de retorn cap al col·lector de vagonetes en espera d'ésser enviada cap una estació de preparació de comandes per tornar a repetir el cicle.

9.2 Resultats

Els resultats obtinguts són fruit d'haver executat la simulació deu vegades i sempre amb les mateixes condicions inicials per a poder-ne comparar els resultats. A l'hora d'estudiar els resultats s'obtenen valors dels temps necessaris per a la distribució d'expedients, així com dades de funcionament dels operaris, transelevadors i del transport de vagonetes.

9.2.1 Temps necessari per a la distribució d'expedients

Per a verificar el grau d'eficiència de la instal·lació fa falta obtenir el temps necessari per a la distribució d'expedients.

Cal diferenciar dos tipus de temps totals.

- Temps total que triguen els operaris de la zona de preparació de comandes en gestionar tots els expedients.
- Temps total que es triga des de que surt la primera vagoneta de la zona de preparació de comandes fins que l'última vagoneta carregada amb expedients és descarregada a l'últim destí de l'hospital on s'han de repartir expedients.

El primer temps interessa per veure si els operaris són capaços de realitzar totes les comandes durant el transcurs d'una jornada laboral de vuit hores i, el segon, interessa per tenir una idea aproximada de la franja horària en que s'ha de disposar de personal de l'hospital a les plantes de destí per a que descarreguin/carreguin els paquets d'expedients de les vagonetes que arriben a les zones de recepció de vagonetes de les plantes superiors.

- **Temps total necessari a la zona de preparació de comandes**

Per calcular el temps que triguen els operaris de la zona de preparació de comandes en completar totes les comandes, n'hi ha prou en saber el temps transcorregut des de que comencen a treballar fins que l'última vagoneta abandona la zona de preparació de comandes en direcció a les plantes superiors.



A la següent Taula 9.1 ve reflectit el temps mig, en segons i hores, necessari a la zona de preparació de comandes per a poder manipular els 2440 expedients. Aquest temps s'obté de la Taula A.2 de l'Annex A.

	MITJA (s)	MITJA (hores)
Temps necessari a la zona de preparació de comandes	28733,9	7,98

Taula 9.1. Temps mig total de preparació de comandes

Com s'observa a la taula, els tres operaris són capaços de realitzar la feina en una mitja de 7,98 hores complint així amb les especificacions del sistema, per un estret marge de temps.

- **Franja horària per a la disponibilitat d'operaris a les plantes de destí**

Per calcular la franja horària n'hi ha prou amb saber a quina hora surt la primera vagoneta de la zona de preparació de comandes i a quina hora es descarrega/carrega la darrera vagoneta enviada a l'últim destí ja que a cada planta hi arriba un nombre determinat de vagonetes, i un cop es cobreix el nombre de vagonetes enviades el personal marxa cap al següent destí. S'agafa com a instant zero el moment en que comencen a treballar els operaris de la zona de preparació de comandes.

A la Taula 9.2 ve reflectit el temps d'inici mínim i el temps final màxim necessari per a gestionar totes les vagonetes des del moment en que comencen a treballar els operaris de la zona de preparació de comandes. Aquests valors s'obtenen de la Taula A.12 de l'Annex A.

	Temps (min)	Temps (hores)
Temps mínim de sortida de la primera vagoneta des de l'instant 0 (min)	3,95	0,07
Temps màxim transcorregut fins descarrega de l'última vagoneta (hores)	484,2	8,07

Taula 9.2. Franja de disponibilitat horària



D'aquestes dades s'obté que l'hospital ha de disposar de personal per a descarregar/carregar els paquets d'historials clínics de les vagonetes entre 3,95 min i 8,07 hores després que comencin a treballar els operaris de la zona de preparació de comandes

9.2.2 Operaris de la zona de preparació de comandes

Tot i que a l'apartat anterior s'observa que els operaris són capaços de gestionar els 2440 expedients en un torn laboral, interessa obtenir més informació que ajudi a comprendre el funcionament dels operaris.

- **Flux de caixes**

Ja que el temps mig total que fa falta als operaris per gestionar les 2440 caixes necessàries per a completar les comandes diàries és de 28733,9 segons, implica que el flux mig de caixes que són capaços de gestionar els operaris és de:

$$\frac{2440 \text{ caixes}}{28733,9 \text{ segons}} \cdot \frac{3600 \text{ segons}}{1 \text{ hora}} = 305,7 \frac{\text{caixes}}{\text{hora}}$$

Aquest resultat és inferior al flux obtingut en model 3 on es simulava el funcionament dels operaris treballant al 100% disposant sempre de tots els elements necessaris per a poder treballar.

En el model 3 el resultat obtingut és de 352 caixes/hora.

La discrepància de resultats indica que almenys hi ha un dels tres operaris que no està treballant al 100% de la seva capacitat.

- **Nivell d'ocupació**

A la Taula 9.3 s'indiquen els valors mitjos d'ocupació obtinguts per cadascun dels tres operaris de la zona de preparació de comandes. Aquests nivells d'ocupació s'obtenen de la Taula A.3 de l'Annex A.

	Operari 1	Operari 2	Operari 3
% Mig ocupació	84,0	86,3	86,3

Taula 9.3. % Mig d'ocupació dels operaris

Com es pot observar, cap dels tres operaris és capaç de tenir un nivell d'ocupació del 100% i el nivell d'ocupació de l'operari 1 és inferior al dels altres dos operaris.

L'únic motiu que pot causar que els operaris no treballin tot el temps, és el fet de que no disposin de tots els elements necessaris per treballar. Els operaris necessiten tenir una caixa i



una vagoneta per a poder fer l'intercanvi d'expedients i, només que falli un d'aquests elements l'operari està parat.

Tal i com s'ha comentat en el model 2 de cintes transportadores, a cada estació de preparació de comandes hi ha prou lloc com per a acumular fins quatre caixes en espera de que l'operari les necessiti, i que s'ha programat el sistema de cintes transportadores per a intentar garantir que aquestes places d'acumulació estiguin sempre plenes al màxim, assegurant al mateix temps que als operaris no els faltin mai caixes d'on agafar expedients. Així doncs, només pot donar-se el cas de que els operaris no treballin per falta de vagonetes d'on fer l'intercanvi d'expedients.

Tant l'explicació del motiu pel qual els operaris no disposen de vagonetes com del fet de que el nivell d'ocupació de l'operari 1 és inferior al dels altres dos es veurà a partir dels resultats obtinguts en el transport de vagonetes ja que el motiu està relacionat.

- **Nombre d'operacions per operari**

A continuació s'aporten dades que fan referència al nombre d'operacions que realitzen cadascun dels operaris, així com els temps mitjos que triguen cadascun dels operaris en realitzar una operació de càrrega/ descàrrega.

La Taula 9.4 mostra el nombre mig d'operacions realitzades per cadascun dels operaris de les 2440 operacions totals a realitzar. Aquests valors s'obtenen de la Taula A.4 de l'Annex A.

	Operari 1	Operari 2	Operari 3
Nombre mig d'operacions	799,2	820,0	820,8

Taula 9.4. Nombre mig d'operacions per operaris

Com s'observa a l'anterior taula, l'operari 1 és el que realitza el menor nombre d'operacions d'entre els operaris, resultat lògic ja que és l'operari amb el % d'ocupació més baix.

- **Temps per operació**

A la taula següent, Taula 9.5, es mostren els temps mitjos per operació, així com els temps màxims i mínims que triga cada operari. Aquests valors s'obtenen de les Taules A.5, A.6, A.7 de l'Annex A.



Temps (s)	Operari 1	Operari 2	Operari 3
Mín.	11,9	11,9	12,2
Màx.	53,4	51,9	50,1
Mig	29,9	30,0	30,0

Taula 9.5. Temps d'operació per operaris

Com s'observa de les taules anteriors, quan els operaris de la zona de preparació de comandes realitzen les operacions de càrrega/descàrrega s'obtenen els mateixos temps mitjos per operació que en el model 3 independentment del nivell d'ocupació de l'operari.

9.2.3 Transelevadors

A continuació s'exposen els resultats obtinguts pels transelevadors en la simulació de model complet. Aquests resultats engloben el nivell d'ocupació, així com els temps mitjos, màxims i mínims de cadascun dels transelevadors.

- **Nivell d'ocupació**

El nivell d'ocupació dels transelevadors dóna informació del tant per cent del temps que el transelevador està realitzant alguna funció diferent de la d'estar parat i en espera. Així doncs es comptabilitza com a temps ocupat la duració de qualsevol operació de càrrega/descàrrega i moviment del transelevador.

Quan el transelevador treballa en cicles simples, hi ha moments en que aquest viatja buit, i aquest temps no s'hauria de comptabilitzar com a temps ocupat, però com que les operacions realitzades en cicle simple representen un 1,64% de totes les operacions realitzades pels transelevadors, no es fa distinció entre moviments amb càrrega o sense a efectes de càlcul del nivell d'ocupació.

D'un total de 2440 caixes a tractar, la distribució entre caixes tractades amb cicle simple i les tractades amb cicle combinat és la següent.

40 caixes a introduir en cicle simple \Rightarrow 2400 caixes a introduir en cicle combinat.

$$\frac{40}{2440} \cdot 100 = 1,64\%$$

Per tant les caixes a tractar amb cicle simple tant sols representen el 1,64% de les 2440 caixes i es considera que tots els moviments dels transelevadors es realitzen amb càrrega.

A la Taula 9.6 es mostren els nivells mitjos d'ocupació per transelevador. Aquestes dades s'obtenen de la Taula A.8 de l'Annex A.



	Transelevador 1	Transelevador 2	Transelevador 3
% Mig ocupació	76,2	62,4	64,7

Taula 9.6. % Mig d'ocupació per transelevador

Com s'observa a la taula anterior, el nivell d'ocupació és força baix, i tant sols el transelevador del passadís 1 està ocupat en més d'un 75%. Tot i així, un 75% resulta un nivell baix d'ocupació tractant-se de transelevadors, especialment si es considera que són els elements més cars del magatzem i que haurien de poder estar treballant amb un nivell d'ocupació el més alt possible.

D'aquests nivells d'ocupació es pot arribar a la conclusió de que els transelevadors escollits per a la instal·lació estan sobredimensionats.

- **Temps de cicle**

Tot seguit es mostren els resultats obtinguts per cadascun dels transelevadors pel que fa al temps de cicle mig, màxim i mínim. Cal recalcar, però, que aquests temps engloben tots els cicles dels transelevadors des de que aquests comencen a treballar i, per tant, inclouen els cicles simples de l'inici de funcionament de la instal·lació i els cicles combinats de la resta de funcionament de la instal·lació.

De la forma com s'ha programat la simulació no es pot diferenciar a quin tipus de cicle pertanyen els temps mínims obtinguts, però molt probablement corresponguin a cicles simples, mentre que els valors màxims probablement corresponguin a cicles combinats.

La Taula 9.7 mostra els diferents temps de cicle per transelevador. Aquests valors s'han aconseguit de les Taules A.9, A.10, A.11 de l'Annex A.

Temps (s)	Transelevador 1	Transelevador 2	Transelevador 3
Mín.	17,0	14,7	13,6
Màx.	78,1	67,6	61,9
Mig	52,3	42,8	43,9

Taula 9.7. Temps de cicle per transelevador

A continuació a la Fig. 9.1, es mostren tres histogrames cadascun dels quals pertany a un transelevador. Aquests histogrames s'han obtingut de l'execució d'una sola simulació com a exemple dels diferents temps de cicle que poden tenir els transelevadors al llarg de la simulació.



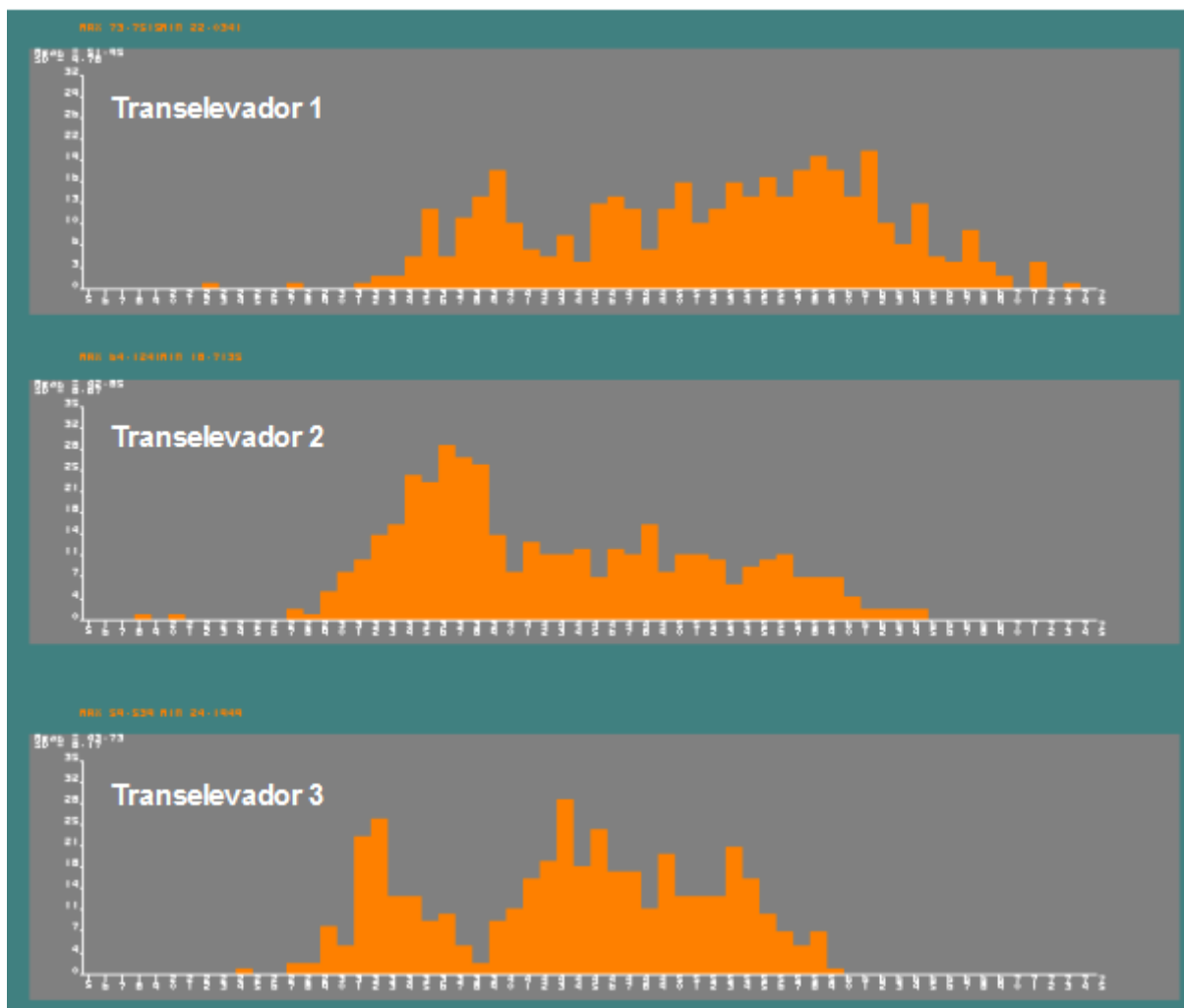


Fig. 9.1. Histogrames de temps per operació dels transelevadors al llarg d'una simulació

Les corbes resultants no semblen adaptar-se a cap tipus de distribució probabilística, però si s'observa els histogrames amb deteniment, es veu que, en funció del rang de temps d'estudi que s'agafi dins els histogrames, hi ha pics i valls. Aquesta seqüència de pics i valls ve determinada pel programa de gestió del transelevador en funció dels diferents camins a seguir per a la introducció/extracció de caixes del magatzem segons les posicions i buits a generar en cada cicle.

De les corbes obtingudes també es pot observar certa semblança entre la corba del passadís 1 i la del 3, mentre que el passadís 2 mostra un perfil força diferent. D'igual manera, a les taules de temps dels transelevadors, s'observa que les mitges de temps (Taula 9.7) són de 52,3s, 42,8s, 43,9s per cadascun dels transelevadors. Resultat que sembla incoherent, ja que, tot i que el passadís 2 és quasi tant llarg com el passadís 1, el temps mig de cicle és inferior que el del passadís 3, sent el passadís 3 el més curt de tots ells.



Aquesta discrepància de resultats és deguda a la distribució física del passadís 2. Tant en el passadís 1 com en el 3, la introducció/extracció caixes es realitza per un dels extrems dels passadissos, mentre que en el passadís 2, la introducció/extracció de caixes del passadís es realitza gaire bé a meitat del passadís. Si les posicions dins un passadís, amb l'entrada/sortida en un dels extrems, es cataloguen com a prop, a mitja distància i lluny respecte de l'entrada/sortida del magatzem, en el cas de tenir un magatzem alimentat per la meitat es duplica la quantitat de caixes situades a prop de l'entrada/sortida disminuint, en primer terme, el nombre d'aquelles caixes abans situades lluny de l'entrada/sortida.

9.2.4 Transport de vagonetes

Pel que fa al transport de vagonetes no té gaire sentit realitzar un estudi del nivell d'ocupació dels elements que formen el circuit tret dels rails d'entrada/sortida de les zones de preparació de comandes. Els punts més conflictius de la resta del circuit corresponen a les cruïlles que estan situades entre el col·lector de vagonetes i els ramals que porten cap a cada ala i cap a oncologia, ja que per aquestes cruïlles passen 610 vagonetes, les 305 que s'envien han de tornar al col·lector i, com que aquestes cruïlles tenen un temps de cicle associat de 3 s implica un nivell d'ocupació del 6,4% si es considera que la distribució d'expedients es realitza en vuit hores.

$$\frac{610 \text{vagonetes}}{28800 \text{segons}} \cdot \frac{3 \text{segons}}{1 \text{vagoneta}} \cdot 100 \approx 6,4\%$$

Com ja s'ha vist anteriorment, hi ha alguna raó per la qual els operaris de la zona de preparació de comandes no sempre disposen de vagonetes d'on poder fer l'intercanvi. Aquesta raó està localitzada en els tres rails d'entrada/sortida del col·lector cap a cada estació de preparació de comandes en particular. Ja s'ha comentat que aquests rails d'entrada/sortida són de rail únic que connecten el col·lector amb cadascuna de les estacions de preparació de comandes i, per tant, no es poden fer arribar vagonetes a cada estació fins que aquests rails estiguin lliures de vagonetes.

- **Temps Transcorregut entre vagonetes**

Així doncs és interessant veure el temps que transcorre entre que marxa una vagoneta de l'estació de preparació de comandes i l'arribada d'una altra. Aquest temps és el mateix en que l'operari està aturat i, per tant, el causant de que els nivells d'ocupació dels operaris no siguin del 100%.

La Taula 9.8 indica el temps perdut entre vagonetes a cada estació de preparació de comandes. Aquestes dades s'extreuen de la Taula A.13 de l'Annex A.



	Estació 1	Estació 2	Estació 3
Temps mig d'espera entre vagonetes (s)	46,6	38,7	38,7

Taula 9.8. Temps perdut entre vagonetes per estació

Com s'observa a la taula anterior el temps mig perdut pels operaris esperant la següent vagoneta és de 46,6s, 38,7s i 38,7s respectivament. A l'anterior taula queda també reflectida la raó per la qual l'operari 1 té el nivell d'ocupació més baix, i això és degut a que és l'estació a la que triga més en arribar una nova vagoneta.

Aquesta tardança és en part deguda a la manera en que s'ha programat el funcionament de les vagonetes. Tal i com s'ha explicat amb anterioritat, les vagonetes es troben acumulades al col·lector de vagonetes en espera de que quedi lliure algun dels rails d'entrada/sortida i, ja que el rail d'entrada/sortida de l'operari 1 és el més llunyà del col·lector, és lògic que sigui l'estació que té un temps perdut entre vagonetes més gran. Seguint aquest raonament, l'estació 2 hauria de tenir un temps perdut més gran que el de l'estació 3, però la distància entre el col·lector i l'estació pertinent no és l'únic factor que afecta al temps que triga una vagoneta en arribar fins l'estació, ja que els tres rails d'entrada/sortida comparteixen el mateix rail d'alimentació i a vegades una vagoneta que entra o surt d'una estació de preparació de comandes no permet el pas d'una altra vagoneta que vagi cap a una altra estació fins que la intersecció queda alliberada.

Es podria reduir aquesta tardança si es disposen d'una vagoneta llesta a la vora de cada rail d'entrada/sortida en espera de que aquest quedi lliure en lloc d'haver-la d'enviar des del col·lector. Aquesta variació podria implicar alguna saturació esporàdica del rail d'alimentació dels rails d'entrada/sortida, però possiblement afectés favorablement disminuint el temps d'espera entre vagonetes, cosa que ajudaria a reduir el temps total necessari per a realitzar la distribució dels expedients.

- **Flux de vagonetes**

El fet que els rails d'entrada/sortida de la zona de preparació de comandes resultin ser els limitants del sistema sembla discrepar amb els resultats obtinguts en el model 4, on el sistema de transport era capaç d'absorbir un flux de 257 vagonetes/hora, superior al de 45 vagonetes/hora que permetia fer la distribució de tots els expedients en 6,67 hores, però a l'hora de realitzar el model 4 s'havia considerat que el temps que necessitaven els operaris era 0.

Però a l'hora de simular el model complet el flux de caixes que circulen per la sortida del col·lector és de 38 vagonetes/hora.



Temps mig sortida primera vagoneta = 624,7s

Temps mig sortida última vagoneta = 29133,9s

$$\text{Flux mig de vagonetes} = \frac{305 \text{ vagonetes}}{29133,9\text{s} - 624,7\text{s}} \cdot \frac{3600\text{s}}{1\text{hores}} = 38,52 \frac{\text{vagonetes}}{\text{hores}}$$

- **Nombre de vagonetes que fan falta**

Una altra dada important a controlar del sistema de transport és el nombre total de vagonetes que fan falta a l'hora de garantir el transport de tots els paquets d'expedients.

Originalment Siemens proposa utilitzar quinze vagonetes. Per comprovar el nombre total de vagonetes que fan falta, es controla quantes vagonetes hi ha en tot moment en el col·lector esperant a poder ser enviades cap a les estacions de preparació de comandes.

A partir d'aquesta dada s'obté el nombre de vagonetes mínim que conté el col·lector.

A la Taula 9.9 es mostra el nombre mínim de vagonetes que es troben en el col·lector al llarg de cadascuna de les simulacions.

Resultat sobre la quantitat de vagonetes que fan falta

Simulació	Nombre mínim de vagonetes en el col·lector
1	6,0
2	6,0
3	7,0
4	7,0
5	6,0
6	6,0
7	6,0
8	6,0
9	7,0
10	7,0

Taula 9.9. Mínim nombre de vagonetes en el col·lector

Com es pot veure el nombre mínim de vagonetes que es troben en tot moment a l'espera de ser enviades cap a les estacions és de sis. Aquest resultat indica que el sistema, en aquestes condicions de funcionament sense avaries, només necessita nou vagonetes.



9.3 Alternatives

Després d'haver estudiat el funcionament del sistema i els resultats obtinguts, tot i que el sistema compleix amb els requisits marcats per l'Hospital, hi ha certes modificacions que es podrien plantejar per a de millorar el funcionament de la instal·lació.

Com s'ha vist, els operaris de la zona de preparació de comandes són capaços de gestionar 2440 expedients en 7,98 hores, garantint d'aquesta manera que són capaços de gestionar els 2400 expedients que demana l'hospital en menys de vuit hores. Però com que el marge de temps que els queda després de gestionar tots el expedients és molt petit, en cas d'existir qualsevol problema durant la jornada de treball no els seria possible gestionar tots els expedients en menys de vuit hores.

És per això que una possible millora de la instal·lació seria la incorporació d'una quarta estació de preparació de comandes amb el seu operari corresponent. Per a poder fer aquesta modificació es disposa d'espai suficient a la instal·lació. Aquesta modificació permetria gestionar un mateix nombre d'expedients en menys temps o bé gestionar més expedients en el mateix temps en cas de que l'hospital decidís augmentar el nombre de visites diàries.

Però aquesta modificació no seria del tot correcte, ja que s'ha demostrat que el limitador del nivell d'ocupació dels operaris és el temps perdut entre les vagonetes que arriben a una estació de preparació de comandes via l'únic rail que aquesta estació disposa. Per tant, la primera millora de la instal·lació seria la de garantir el mínim temps d'espera possible entre vagonetes.

Una possibilitat seria desdoblar cadascun dels rails que connecten el col·lector amb les estacions de preparació de comandes. D'aquesta manera es podria disposar de dues vagonetes per estació de preparació de comandes, una en espera mentre l'operari carrega/descarrega l'altra, minimitzant el temps d'espera entre vagonetes.





10 Valoració econòmica

A l'hora de calcular el pressupost de la realització del projecte presentat es tenen en compte les despeses generades de la inversió de temps en tasques d'estudi de la instal·lació, modelització, simulació i anàlisi de les dades obtingudes, així com de les despeses personals que inclouen material i llicències informàtiques.

Els costos generats de la inversió de temps fan referència a les hores d'enginyer que inclouen les tasques d'estudi de la instal·lació, modelització, simulació i anàlisi de les dades obtingudes.

S'entenen per despeses personals com les despeses que ha suportat inicialment l'enginyer per a poder dur a terme la realització del projecte. Dins aquesta categoria es tenen en compte tots els materials informàtics utilitzats, les despeses d'amortització i manteniment del programa de simulació Witness, les despeses en material fungible i l'electricitat utilitzada.

Cost del personal		
Enginyer Industrial		20000,00 €
400 hores · 50 €/h		
Cost del hardware		
Ordinador personal		225,00 €
1500 € · 15% d'ús		
Cost del software		
WITNESS, amortització de la llicència		1350,00 €
27000 € · 5% d'ús		
WITNESS, manteniment del programa		1200,00 €
4000 €/any · 1 any x 30% d'ús		
Cost del material fungible		
Electricitat, material d'oficina,...		210,00 €
SUBTOTAL		22985,00 €
+ 16% d'IVA		3677,60 €
TOTAL		26662,60€





Conclusions

L'objectiu d'aquest projecte és el de validar la instal·lació dissenyada per Siemens Controlmatic davant la necessitat de l'Hospital de la Santa Creu i Sant Pau de millorar les instal·lacions d'emmagatzematge i distribució d'expedients existents.

Es considera que la instal·lació està ben dissenyada si els operaris de la zona de preparació de comandes són capaços de gestionar, en un torn de vuit hores, els 2400 expedients que fan falta per a complir amb les visites diàries de l'hospital.

A l'hora de presentar els resultats de la viabilitat de la instal·lació també resulta apropiat comentar l'interval de temps en que l'Hospital ha de disposar de personal que s'ocupi de descarregar/carregar els paquets d'expedient de dins les vagonetes un cop aquestes arriben a les plantes destí corresponents, així com de determinar el nombre físic de vagonetes que fan falta per transportar tots els paquets d'expedients des de la zona de preparació de comandes fins les plantes destí i viceversa.

Els resultats obtinguts es basen en la simulació de cinc models mitjançant el paquet de simulació Witness i l'estudi posterior a partir d'un nombre determinat d'experiments partint de les mateixes condicions inicials. Quatre dels cinc models analitzats corresponen al funcionament ideal individual de cadascuna de les parts d'estudi de la instal·lació, magatzem, cintes transportadores, operaris de la zona de preparació de comandes i transport de vagonetes. El cinquè model correspon a la simulació de tots els models anteriors connectats entre sí.

De l'anàlisi dels resultats obtinguts en les simulacions s'arriba a les següents conclusions:

- La instal·lació proposada és capaç de complir amb la demanda de gestionar els 2400 expedients que fan falta per les visites programades pel dia següent i de recollir els 2400 expedients del dia en curs.
- L'hospital necessita disposar de personal que s'ocupi de descarregar/carregar les vagonetes quan aquestes arriben al destí corresponent entre l'interval de temps que va des de els 3,95 min fins a 8,07 hores després de que els operaris de la zona de preparació de comandes comencin a treballar.
- Considerant que no existeix la possibilitat d'avaries, de les quinze vagonetes amb que està originalment dissenyada la instal·lació, hi ha prou amb disposar-ne de nou.
- Els transelevadors estan desaprofitats, ja que el seu percentatge d'ocupació es troba entre el 62 i el 76%. Al tractar-se de màquines molt cares els seus nivells d'ocupació haurien d'ésser el més alt possible.



- Els operaris de la zona de preparació de comandes tenen un percentatge d'ocupació adequat d'entre un 84 i un 86%.
- El transport de vagonetes és el limitant del sistema, tot i que en el seu model individual s'aconsegueix un flux màxim de 257 vagonetes/hora. En el model complet quan interacciona amb el temps que necessiten els operaris de la zona de preparació de comandes, és capaç de proporcionar un flux màxim de 38 vagonetes/hora.

Cal comentar que, tot i que la instal·lació dissenyada per Siemens Controlmatic compleix amb els requisits demanats per l'Hospital de la Santa Creu i Sant Pau, l'Hospital s'ha decidit per una proposta de millora realitzada per una altra companyia.



Bibliografia complementària

SIEMENS Controlmatic, S. A. *Implantación de Almacén automático para archivo de Historiales Clínicos*. Febrer 2003.

MARCELA DE LA ROSA, JORDI PEREIRA. *Guías de simulación con Witness*. Barcelona: ETSEIB-CPDA. 2000.

VALLÉS FOIX, XAVIER. *Simulació d'un centre de distribució de productes alimentaris d'alta rotació*. Projecte Fi de Carrera (Desembre 2003).

LLORCA QUINTIN, NATHALIE. *Simulació d'una instal·lació automatitzada d'emmagatzematge i preparació de comandes*. Projecte Fi de Carrera (Novembre 2003).

Lanner Group; WITNESS, Learning Witness. Manual del programa (1998).

